Otra forma de cultivar

Carlos Beloqui

OTRA FORMA
DE CULTIVAR

CARLOS BELOQUI

CARLOS BELOQUI
OTRA FORMA DE CULTIVAR
Todas las fotografías que ilustran esta publicación han sido tomadas por Carlos Beloqui

2025 Versión 1.0
Versión para lectura en PDF formato A4
Escrito en 2025
Primera edición 2025

Este documento fue creado utilizando software libre y de código abierto:
- LibreOffice – editor de texto (contenido del libro)
- Scribus – editor de libros y revistas (para la portada)
- Gimp – editor de imágenes
- Debian GNU/Linux – sistema operativo
El contenido ha sido revisado y corregido ortográficamente si ha sido necesario.

Índice de contenido

Prólogo....4
El porqué de las cosas....4
Motivaciones personales y agradecimientos....v
Introducción....7
Otra forma de cultivar....xi
• Observar, pensar, experimentar....xii
• Los que manejan el cotarro....17
• Cosechando microbios....22
• Otros habitantes del ecosistema suelo....24
Manejo orgánico....26
• ¿Hay que oxigenar la tierra y dejarla suelta?....xxvii
• El compost....29
• Fomentando la vida microbiana y controlando patógenos....31
• Problemas con la tierra: diagnosis y búsqueda de soluciones....32
• Quemando billetes....38
¿De qué está hecha una planta y cómo se alimenta?....xl
• Composición de una planta e intercambio iónico con el medio....xli
• La rizofagia, un fenómeno descubierto recientemente....43
Convirtiendo el aire y el agua en energía para crecer....45
• Fotorrespiración, plantas C3, C4 y CAM....46
• Respiración celular: de pájaras y eructos....47
• Pigmentos que captan energía....48
La formación de suelo: de la roca madre al humus....50
• Influencia de la planta en el medio y del medio en la planta....52
Una época de descubrimientos pero también el comienzo del desastre: siglo XIX y primera mitad del XX....liv
Fertilizantes de síntesis: reemplazando la labor de los microbios....65
Soberanía alimentaria y propiedad intelectual....68
Alternativas reales (y probadas) y propuestas para el futuro....lxxii
• Conclusiones....77
Adenda....lxxviii
La formación de los suelos y el manejo de la materia orgánica para enriquecerlos..lxxviii
Glosario....lxxxiv
Referencias y bibliografía....lxxxix
Libros, artículos científicos, escritos y ponencias....lxxxix
Portales, páginas web y blogs....92
Canales de YouTube....92

Prólogo

El porqué de las cosas

Conocí a Carlos a través de Mariano Fernández, por cuestiones que no tienen que ver con la agricultura, pero, como los dos la practicamos, rápidamente entablamos amistad.

Era un tipo menudo, de ojos pequeños que escondían detrás de las gafas una mirada clara, inteligente, curiosa… A través de nuestras primeras conversaciones dejaba entrever sus preocupaciones agrícolas: las diferencias entre una huerta y otra, el estado de los suelos, por qué una planta medra mejor aquí o allí, qué hacer con la multitud de hormigas, cómo combatir la araña roja, el aumento de temperaturas, y un largo etcétera.

Estas inquietudes y su natural curiosidad le llevaron al estudio y puesta en práctica de lo aprendido en busca del "porqué de las cosas"; la razón por la que sucedían en sus huertas los motivos de preocupaciones. Y lo que es más importante cómo mejorar no sólo la cosecha, sino la base para que las cosechas venideras no tuvieran los mismos problemas. Descubrió que esta base es el suelo, que debiera ser el elemento más importante para cualquier agricultor.

La agricultura es un oficio complejo; depende de demasiadas variables: suelo, calidad de las semillas, climatología, meteorología y otros muchos factores. Sacar conclusiones de un buena o mala cosecha para los años siguientes no es aconsejable. Lo interesante es llevar un cuaderno de campo en el que anotemos todas las labores realizadas desde la preparación del terreno hasta la recogida de los frutos, teniendo en cuenta la meteorología y todos los factores que pudieran alterar el resultado. Y este cuaderno rellenarlo año tras año y tratar de sacar las conclusiones a lo largo de los años que nos permitan potenciar positivamente aquellos factores sobre los que tenemos alguna influencia (suelo, semillas, abono, riego, …).

El autor nos ayuda enormemente en esta tarea ya que nos proporciona un compendio resumido de los cuadernos de campo y experimentos de otros investigadores, así como las conclusiones de sus propias experiencias. Uno y otros nos animan a cambiar hábitos para que nuestras prácticas sean lo menos dañinas posible con el medio que nos rodea. El agricultor profesional no pierde nada en probar prácticas nuevas en un pequeño trozo de tierra y comparar y el agricultor aficionado nada pierde en probar durante unos años y ver resultados.

Otra forma de hacer las cosas siempre será posible.

Juan José González Ruiz

Motivaciones personales y agradecimientos

Aún hoy mucha gente desconoce de qué se nutren realmente las plantas, en qué consiste exactamente la fotosíntesis, o que la plaga que seca sus plantas cada año es un ácaro -que a su vez es presa potencial de otros ácaros e insectos-, o que las enfermedades que aparecen en sus plantas en condiciones de mucha humedad y temperaturas medias/altas las causan ciertos hongos y virus. Creo que hay que acercar la ciencia a la sociedad, creo que los datos, el razonamiento, el método científico (que no es la realidad, pero es la única herramienta que tenemos para intentar acercarnos a ella) tienen que prevalecer sobre creencias populares y mitos.

Aunque en algunos apartados la lectura pueda hacerse un poco densa y pesada por la cantidad de información que para muchos será novedosa y algo complicada de entender, he intentado expresarla de forma más o menos comprensible y sin meterme en fórmulas ni en expresiones de reacciones químicas que a mí mismo me cuesta entender. Por otra parte, para quienes este libro se les quede corto y quieran saber más, en la bibliografía tienen material -accesible y disponible en internet además- de sobra para profundizar en estos temas.

Son muchos los que me han inspirado, y aunque yo seguramente no sea el más indicado, ni tenga suficientes años de experiencia, ni sea experto en ciencias ni investigador, y que todo esto me echase para atrás en un principio a la hora de publicar este libro, creo que los años o décadas en algunos casos de experiencia y de valiente y tozuda experimentación en sus tierras de gente como Pacho Gangotena en Ecuador, de Jairo Restrepo en Colombia, de Masanobu Fukuoka en Japón, de Charles Dowding en Inglaterra, de Pedro Isabeles en las fincas de sus clientes en distintos países (algunas de miles e incluso de decenas de miles de hectáreas), o de Mireia y Alan (los chicos del canal de Youtube La Tanina, de quien más he aprendido probablemente), bien merecen ser reconocidas y nombradas en este libro. También los razonamientos que plasmó Edward Faulkner en sus libros hace ocho décadas, tan de sentido común, merecen ser recordados, así como los descubrimientos realizados a pie de campo que tanto él como Cyril G. Hopkins, Albert Howard y otros realizaron, o la dedicación y el empeño de H.H. Bennett y Paul B. Sears por frenar la erosión y recuperar la fertilidad de los suelos estadounidenses. Es por todos ellos por lo que me decidí a editarlo: sus hallazgos, sus experiencias y sus advertencias que durante tanto tiempo se han olvidado no deben caer en saco roto.

No me considero autor de este escrito sino un mero transmisor de ideas y conocimientos que otros descubrieron y mostraron al mundo, lo único propio o nuevo que aporto aquí son mis observaciones y mis malas fotografías hechas con la cámara del teléfono móvil en el huerto.

Tengo que agradecer a mi amigo Mariano Fernández que me incitase continuamente a investigar y a compartir los pocos conocimientos que tengo. A Paco Álamo que empezase a conocer de su mano las interacciones tan complejas que se producen en la naturaleza y me metiera el gusanillo para querer aprender más. A Juanjo González y a Juanjo Mora por sus aportaciones. A Andrés Ocaña por echarme un cable con la redacción, la maquetación y la impresión. Y a mi padre por el interés que ha mostrado desde el principio. Sin ellos no habría sido posible escribir ni publicar esto.

Introducción

He querido narrar aquí casi como si fuera un cuaderno de Bitácora lo que he ido experimentando y aprendiendo en el huerto en estos dos últimos años en que he cambiado el manejo, dejando de arar y dedicándome más a observar y a probar. También he incluido lo que he ido averiguando durante este tiempo sobre cómo funciona el suelo, sobre cómo funcionan las plantas, y sobre el mundo de los insectos y las interrelaciones que se establecen entre ellos y con las plantas (aunque sobre esto se podría contar mucho más de lo que cuento aquí).

En la viticultura, dado el valor añadido que tiene el producto final que se obtiene de ella -el vino- y el mayor poder adquisitivo en general que tienen los propietarios de las viñas, se han ido aplicando ciertos avances científicos y tecnológicos. Por ejemplo, se utilizan dispositivos que detectan la cantidad de esporas que hay en el aire en cada momento de ciertos patógenos que afectan a la vid, desde que las cepas están en brotación hasta la vendimia. También se aplica radiación UV por la noche para combatir el oídio, ya que estos hongos tienen un mecanismo para reparar el ADN dañado por la radiación durante el día, pero por la noche lo desactivan. Además, se empezará a incluir la inteligencia artificial como apoyo a algunas de estas técnicas.

Estos avances no se han aplicado tanto en otros sectores agrícolas que siguen algo anclados en la llamada revolución verde, aunque esto está empezando a cambiar.

De todos modos no hace falta echar mano de las últimas tecnologías; ya en los años 20 del siglo pasado se comercializaban fertilizantes a base de ciertas cepas de microorganismos solubilizadores (ya comentaré esto en profundidad). Lo que ocurre es que posteriormente, al desencadenarse la segunda guerra mundial, se dejó de investigar y de aplicar estos conocimientos, y al acabar la guerra se favoreció el desarrollo de una agricultura a gran escala para aumentar la productividad, basada en lo que entonces fueron una serie de innovaciones tanto en maquinaria como en el uso de fertilizantes inorgánicos y pesticidas.

Aquellas innovaciones en parte se habían iniciado unas décadas antes, pero es a partir de los años 40 cuando se pudieron implementar y cuando se produjeron más innovaciones en materia agrícola. Se empezaron a utilizar en el campo productos empleados en la guerra (algunos como explosivos, a los que ya no se les daba tanta salida, y otros como el DDT para desparasitar a las tropas). También se incorporó la tecnología nuclear, tanto para la esterilización de plagas como para la conservación de los alimentos. Se obtuvieron también nuevas variedades más productivas, adaptadas a la maquinaria y con una duración postcosecha mayor.

Todo esto hizo aumentar mucho la producción abaratando los precios, aunque los efectos negativos tampoco tardaron en aparecer, como la proliferación de plagas (paradójicamente).

Como decía, las cosas están empezando a cambiar: por ejemplo en EEUU hay grandes productores de maíz que emplean la siembra directa en vez de arar y dejan los restos del cultivo como cobertura. En América del Sur, se realiza siembra directa en más del 95% de la superficie cultivada de Uruguay, en más del 90% de la de Argentina y en más del 20% de la de Brasil. Se emplea especialmente en los campos de soja de estos países con el fin de evitar la erosión. Fue de hecho en Brasil donde se introdujo por primera vez en Iberoamérica este método en 1972 de la mano de Herbert Bartz, un agricultor alemán que lo probó en sus tierras cansado de que las lluvias se llevaran su suelo y el grano sembrado, causándole muchas pérdidas y teniendo que resembrar.

Aquí en España en olivares, viñas y en algunos campos de frutales y de hortalizas se dejan o se siembran cubiertas vegetales con flores, que además de atraer polinizadores sirven de acolchado una vez pasado el rulo (un rodillo gigante) para tumbarlas; esto mantiene la humedad y evita que la tierra se recaliente. También se ha empezado a promocionar el uso de harinas de roca en algunas regiones.

A nivel de huertas familiares como es de suponer el manejo sigue siendo el tradicional, y a pesar de ser muy respetable, de formar parte de la cultura popular y la historia, y de que haya podido funcionar hasta ahora, también creo que se cometen muchos errores por no analizar qué es lo que estamos haciendo y qué materiales y productos estamos echando, y por no tener en cuenta las singularidades de cada lugar, realizando las mismas prácticas y aplicando las mismas enmiendas en terrenos muy diferentes.

Este nuevo manejo del huerto en el que ando inmerso no es tan nuevo; el japonés Masanobu Fukuoka empezó a practicar la que denominó agricultura natural en los años 40 -justo cuando se ponía en marcha la revolución verde-, basada en su filosofía del “no hacer”, pero ha habido otros pioneros.

En Corea del Sur, en los años 60, Hankyu Cho combinó los métodos de agricultura natural que había aprendido en Japón con elementos del manejo tradicional que se hacía en Corea como eran las fermentaciones que se aplicaban en la huerta, creando así la agricultura natural coreana (conocida como KNF por sus siglas en inglés). Esta se basaba en el uso de microorganismos nativos, en la no labranza y en no utilizar insumos externos ni tampoco estiércoles por lo general, evitando así la proliferación de patógenos. Su hijo Youngsang Cho siguió sus pasos, creando en los años 90 el método Jadam.

Existen otros referentes como Ana María Primavesi, ingeniera agrónoma brasileña de origen austríaco que fue la pionera -junto con su marido Artur- en lo que se ha dado en llamar agricultura orgánica. En 1960 fundaron el Instituto del Suelo, y su libro editado en 1984 “Manejo Ecológico del Suelo”, que por cierto está disponible en internet, es una obra de referencia para cualquiera que se interese por la nutrición vegetal -y por ende la nutrición humana y animal, pues muchos minerales necesarios para nosotros lo son también para las plantas y es de ellas de donde tendríamos que obtenerlos-, sobre su biología y funcionamiento interno, sobre la vida microbiana y la estructura del suelo, y sobre su manejo. Eso sí, está más enfocado a los climas y suelos tropicales. Otros agrónomos y agricultores han seguido la estela de Primavesi en diversos países de Iberoamérica.

En Europa el referente es el inglés Charles Dowding, que lleva desde los años 80 practicando la no labranza (no dig en inglés) y divulgando su método. Él coloca cartón sobre la hierba y encima echa una buena capa de compost que es donde cultiva. La hierba acaba muriendo por falta de luz, el cartón se degrada y la tierra que hay debajo se va transformando en contacto con el compost y los microorganismos.

En Estados Unidos, el agricultor Gabe Brown dejó de arar sus más de 700 ha en 1993 comenzando a cultivar de otra manera. En 2018 publicó el libro “Dirt to Soil” (de tierra a suelo), en el que cuenta sus experiencias y las prácticas que llevó a cabo, sentando las bases de la agricultura regenerativa, en la que se siembran cultivos de cobertura para no dejar nunca el suelo desnudo y se incorporan animales (ganado) en el ciclo productivo, ya que ambos (cultivo y ganado) se benefician mutuamente.

Para concluir, me gustaría aclarar algunos conceptos. La agricultura orgánica tiene poco que ver con la -seguramente mal llamada- ecológica, puesto que esta última reemplaza los fertilizantes químicos de síntesis por abonos orgánicos y los pesticidas y fungicidas de síntesis por otros de origen más natural -aunque no dejan de ser nocivos muchos de ellos-, pero el enfoque es el mismo de la agricultura convencional: trabajar sobre los síntomas y no sobre las causas. Se combaten las plagas y enfermedades buscando soluciones inmediatas pero no se investigan las causas, y mientras no se trabaje sobre las causas el problema persistirá.

La agricultura convencional, al dejar de sustentarse en los avances científicos, en el análisis y el razonamiento práctico, se centra en elementos concretos pero no entiende que todo en la naturaleza está interrelacionado, que por ejemplo lo que ocurre arriba en la parte aérea de la planta es consecuencia de lo que ocurre abajo en el suelo. De hecho, la industria agroquímica se beneficia de los problemas provocados por los desequilibrios y el mal manejo de los campos, necesita que haya plagas y enfermedades para vender soluciones inmediatas que pueden ser efectivas a corto plazo pero que a la larga son un tiro en el pie.

Otra forma de cultivar

En la dificultad es cuando realmente se aprende. Cuando sembraba la huerta que tenía antes, donde la mayoría de las hortalizas se daban bien, no me preocupaba por investigar mucho, apenas sabía algo sobre nutrición vegetal (de qué y en qué forma se nutren las plantas), tampoco sabía de microorganismos, ni era consciente de hasta qué punto es importante la materia orgánica, ni de que todo esto funciona mediante procesos eléctricos -intercambio de iones, que son átomos con carga positiva o negativa-, aunque en realidad así es como funcionan muchas otras cosas también.

Cuando vienen los problemas es cuando empiezas a darle a la cabeza, a investigar y a hacerte preguntas. Entonces descubres que hay otras formas de manejar el huerto y te das cuenta de que hasta ese momento has actuado por inercia, porque es como te han enseñado que hay que hacer las cosas, como se ha hecho siempre, y también influido por esa idea de que todo tiene que estar siempre limpio y ordenado y no tiene que dar sensación de abandono, de que no tiene que haber una brizna de hierba, de que ver cualquier resto de cultivo o de hierba segada sobre el suelo da mala imagen. Pensabas también que con la tierra libre de raíces y de terrones las plantas lo iban a tener mucho más fácil para medrar.

• Observar, pensar, experimentar

Aunque sigues cometiendo errores, empiezas a hacer las cosas como tú realmente quieres y no como te han enseñado -aunque cuesta cambiar el chip-; dejas de quemar la hierba y los restos de cultivos, en vez de eso la dejas pudrirse y descomponerse, y con el tiempo te das cuenta de que justo donde antes había un montón de hierba cortada, ahora la vegetación que sale crece mucho más, y también lo hacen algunas hortalizas de semillas que cayeron ahí accidentalmente, sin haberlas regado, abonado ni cavado (no siendo en verano, claro). En ese momento te das cuenta de que la solución la tenías en tu propio huerto, delante de tus narices. La clave eran los microorganismos que se habían reproducido en ese mantillo de hierba podrida.

En los lugares donde el año anterior había acumulado hierba segada observé que crecía la hierba con mucho vigor, mientras que en la parte cultivada apenas salía ni crecía la hierba. También había mucha diferencia entre hortalizas que salían espontáneos en estos lugares a partir de semillas llevadas por el viento, como rúculas o nabos, y los que yo sembraba en la parte cultivada.

Antes ya había empezado a acolchar el huerto con hierba para evitar que el sol -que en los últimos años tiene mucha fuerza- abrasara el suelo y así mantener la humedad y la temperatura, que en un suelo desnudo puede superar los 60º en nuestra península, aparte de que la radiación ultravioleta mata los microorganismos que pueda haber en superficie. Además en cuanto acolchas te das cuenta de la cantidad de seres vivos que aparecen y que empiezan a habitar bajo esa cubierta.

A partir de entonces lo hice con más motivo tratando de favorecer que ocurriera lo mismo que en las pilas de hierba.

También había dejado de arar, al ver que en estos terrenos arenosos no hacía falta realmente, de hecho es contraproducente -endurece la tierra- sobre todo cuando se mantiene el suelo desnudo. Las partículas del suelo -arenas, limos y arcillas- están mezcladas y unidas en pequeños agregados que se forman por la carga eléctrica que tienen -al unirse a elementos con carga positiva-, por materiales o elementos que actúan como agentes cementantes, y por los exudados de microbios y plantas. Pues bien, en un suelo desnudo y labrado, al caer una tormenta con lluvia intensa las partículas más finas saltan y se quedan arriba, formando al secarse con el sol una costra en superficie. Esta costra tenía que romperla -en mi anterior huerta sobre todo, donde había algo más de arcilla, no tanto en esta huerta de ahora-, porque si no las plantas empezaban a asfixiarse, empezaban a amarillear y dejaban de crecer.

Los pequeños agregados de un suelo sano dejan huecos entre sí, conformando un suelo más poroso incluso en tierras arcillosas, donde por el tamaño de las partículas, si no fuera por estos agregados, las arcillas retendrían tanto el agua que a las plantas les sería imposible tomarla. Estos huecos permiten el paso del aire y el agua, en ellos se refugian los microorganismos y facilitan el desarrollo de las raíces. Además esta estructura es muy estable y menos propensa a la erosión.

En cuanto a las plagas, había dejado de echar cualquier producto (aunque hay alguno bastante inocuo siempre que no se abuse) para favorecer la llegada de fauna auxiliar como son los depredadores y parasitoides. Muchas de estas especies se alimentan también de néctar y polen en su fase adulta, por lo que empecé a sembrar plantas de flor para atraerlas y también dejaba florecer hortalizas en vez de arrancarlas cuando ya no me servían (algo que hacemos en las huertas familiares seguramente por influencia de los campos de cultivo en producción, donde hay que sacarle rentabilidad al terreno, y también por aquella idea del orden y la limpieza). Como cualquier otro insecto que se alimenta de néctar y polen, también juegan un papel importante como polinizadores, ya que pasan a las flores de hortalizas y frutales y también las polinizan.

Así fue, empecé a ver muchas avispillas parasitoides, muchos sírfidos, crisopas, mariposas, abejorros, abejas, un montón de mariquitas y otros insectos benéficos como los cantáridos. Aun así, donde hay muchas hormigas estas defienden a los pulgones, ya que ellas son las que los reparten muchas veces y los pastorean, al aprovecharse de la melaza que excretan, de forma que a veces no queda más remedio que echar mano de algún producto (natural) o mezcla de ellos. También con algunas plagas de los frutales como la palomilla del manzano o la del melocotonero no hay más remedio a veces que poner trampas de feromonas.

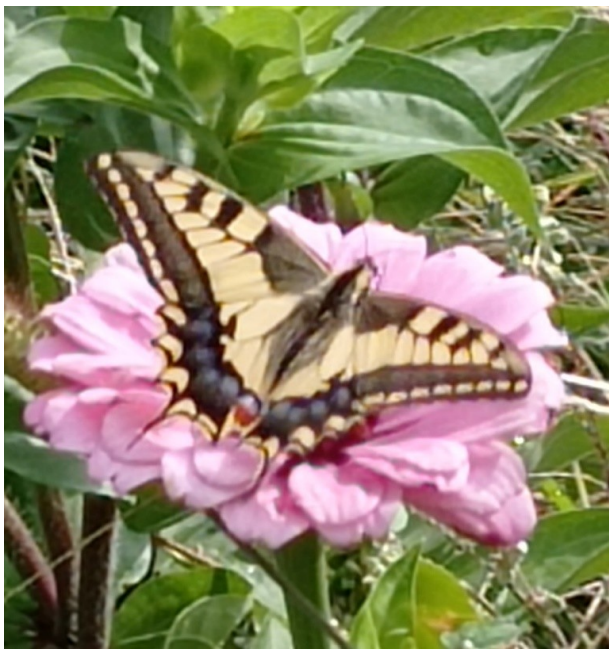
Las larvas de crisopa y las de mariquita (en la foto) están entre los mayores predadores de pulgones que existen. Los adultos se alimentan de néctar y polen aunque hay mariquitas adultas que también se alimentan de pulgones.

Sírfidos (moscas sírfidas) en las matas de guisante, había todo un escuadrón en busca de pulgones junto a los que poner sus huevos, ya que las larvas, unos gusanillos pequeños -los de las especies más comunes suelen ser transparentes-, los depredan. Si las vemos en las colonias de pulgones hay que evitar matarlas. Los adultos se alimentan de néctar, cumpliendo la función de polinizadores en el huerto.

Romanesco plagado de pulgones, la gran mayoría parasitados por avispillas. Estas les inyectan un huevo y mientras se desarrolla la larva en su interior el pulgón sigue vivo pero se hincha y se convierte en una “momia”. Finalmente la avispilla convertida en adulta practica un orificio y sale. En la foto se pueden ver bastantes momias ya vacías.

Pareja de cantáridos apareándose en una mata de haba. Los cantáridos se alimentan principalmente de polen pero también de pequeños insectos como los pulgones, de larvas y de huevos de otros insectos, por tanto son valiosos en el huerto al ser polinizadores y depredadores.

Oruga de la mariposa de la col parasitada por larvas de avispilla. Como en el caso de los pulgones, la avispilla inyecta los huevos en el cuerpo de la oruga y las larvas se alimentan de órganos no vitales, de forma que esta sigue viva. Cuando se han desarrollado salen de la oruga para hacer sus capullos y convertirse en adultos.



Las flores en el huerto sirven para atraer polinizadores y depredadores. Cuanta más diversidad de plantas melíferas haya, más especies de insectos tendremos y más equilibrado será el ecosistema de nuestro huerto. Algunas de las plantas que más insectos atraen de entre las que conozco o he sembrado son la menta silvestre, el cártamo, el hinojo, la zanahoria, el perejil, la zinnia (en las fotos) y la rúcula.

Las hormigas, además del daño directo que hacen a las plantas cuando se convierten en plaga, dejando al aire las raíces y secándolas, perforando frutos como fresas, tomates y melocotones, y cortando hojas, reparten y defienden a los pulgones cuya melaza que excretan les encanta. En la foto, en una mata de alubias las hormigas defienden a los pulgones de una avispilla parasitoide que intentaba inyectarles huevos.

Las plantas, cuando están siendo atacadas por insectos, por hervíboros, o por organismos patógenos, cambian su metabolismo para defenderse, segregando sustancias químicas desagradables para los insectos por ejemplo, también emiten unos compuestos orgánicos volátiles (COV) específicos de alarma para alertar a otras plantas que se encuentren cerca, y para atraer a predadores y parasitoides de los insectos fitófagos que les estén atacando. Cuando algunas matas de judía por ejemplo se me han llenado de pulgones han acudido muchas avispillas.

Hay que tener en cuenta también que si el suelo no tiene un buen equilibrio de nutrientes y las plantas padecen alguna carencia o exceso de algún elemento, el mantillo o la materia orgánica que aportemos no va a hacer milagros y los insectos y ácaros fitófagos (que se alimentan de plantas) van a seguir aprovechándose de estas, creciendo y multiplicándose de una forma anormal.

Esta relación entre las plantas que padecen desequilibrios y los insectos que se convierten en plaga aprovechándose de esa anomalía, es la que explica la teoría de la trofobiosis. Según esta teoría del agrónomo francés Francis Chaboussou, los insectos fitófagos no tienen la capacidad de descomponer las proteínas en su organismo para poder asimilarlas, pero sí pueden asimilar los aminoácidos que las componen, por lo cual se tienen que alimentar de aminoácidos libres, azúcares y minerales solubles presentes en las plantas, en vez de alimentarse de sus proteínas.

Por su parte, las plantas son capaces tanto de formar proteínas como de descomponerlas, pero si hay algún desequilibrio o deficiencia de micronutrientes en el suelo se inhibe la síntesis proteica, impidiendo a la planta formar proteínas y disponiendo así de muchos aminoácidos libres. Esto atrae a los insectos, que activados por la disponibilidad de alimento acortan y aceleran sus ciclos vitales y su capacidad reproductora se multiplica, transformándose en lo que conocemos como plaga.

En la naturaleza, en un entorno que haya sido poco alterado por la mano del hombre, pocas veces vamos a ver plantas con carencias o excesos de nutrientes, a pesar de que hayan podido germinar en un lugar tan poco propicio para crecer como una roca en la que apenas hay tierra o suelo en el que echar raíces. Tampoco veremos plagas por más que las busquemos. El motivo, aparte de tratarse de árboles y plantas autóctonas adaptadas al medio, al sustrato mineral y a las condiciones climáticas, resistentes y con menos necesidades que los cultivos, es que en esos suelos hay millones de organismos microscópicos que interactúan con el medio y con la planta y la ayudan a obtener todo lo que necesita para desarrollarse.

• Los que manejan el cotarro

El suelo es un lugar lleno de vida, en él habitan protozoos (seres unicelulares con núcleo, como las amebas), nemátodos (gusanos microscópicos), lombrices, colémbolos (artrópodos parecidos a pequeños insectos), ácaros, ciempiés, milpiés, hormigas, larvas de insectos, microalgas, bacterias, arqueas (seres unicelulares sin núcleo como las bacterias), mohos, levaduras, virus, hongos y otros seres unicelulares parecidos a los hongos como son los actinomicetos -rebautizados recientemente como actinobacterias- y los oomicetos.

Los hongos filamentosos forman una enorme red bajo el suelo con su micelio (que es el cuerpo del hongo realmente), este se conecta a las raíces de árboles y plantas y las ayudan de esta forma en la búsqueda de alimento y de agua, ampliando su radio de acción y conectándolas también a otros árboles y plantas de las que pueden obtener o a las que pueden aportar nutrientes. Se ha demostrado que son capaces de dirigir el crecimiento de las hifas (filamentos) que forman el micelio hacia donde haya más disponibilidad de nutrientes. Se ha comprobado además en plantas sembradas en espacios reducidos, que las que estaban micorrizadas -es decir, inoculadas con este tipo de hongos- soportaban mucho mejor la falta de riego durante periodos prolongados, e incluso que regándolas menos que las plantas control se mostraban en mejores condiciones.

El 95% de los árboles y plantas se asocian con estas llamadas micorrizas (y unas cuantas también lo hacen con bacterias, como veremos después), por eso no hay que arrancar las plantas en el huerto sino que hay que cortar los tallos para que estos hongos y bacterias sigan trabajando. Tampoco conviene sembrar las plantas por especies o familias todas juntas, porque cuanta más variedad de plantas se pongan juntas más variedad de microbios habrá asociados a las raíces y trabajando para estas.

Se ha visto que en la llamada rizosfera, que es el espacio comprendido en un radio de unos pocos milímetros alrededor de cada raíz o pelo radicular, hay muchos más microbios que en el resto del suelo, pero estos no se quedan ahí sino que penetran en los tejidos de las raíces viviendo en simbiosis con las plantas. Estos microbios intercambian nutrientes y otras sustancias necesarias con ellas siendo ambos interdependientes.

Los más representativos son las rizobacterias, unos cuantos géneros de bacterias llamadas en inglés PGPR (rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal). Estas ayudan a la planta a captar nitrógeno atmosférico del aire presente en el suelo transformándolo en amonio, también solubilizan fósforo y potasio y secretan sideróforos (compuestos quelantes del hierro, es decir, que lo atrapan y se combinan con él volviéndolo más disponible), todos ellos nutrientes básicos para su socio vegetal. Además producen hormonas promotoras del crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas, y enzimas como la ACC desaminasa que reduce el estrés y mejora la nutrición de la planta.

Las PGPR son las encargadas de activar la resistencia sistémica inducida (RSI, o ISR en inglés), que confiere protección a la planta frente a bacterias, hongos y algunos virus patógenos. Este mecanismo de defensa es distinto de los que ya posee la planta, los cuales sólo se activan en el momento en que sufre la infección de algún patógeno o daños por insectos fitófagos u otras heridas: la resistencia sistémica adquirida (RSA o SAR) y la resistencia inducida por heridas (RIH o WIR).

En el caso de las leguminosas y de algunas otras plantas, las bacterias del género Rhizobium en simbiosis con la planta inducen la formación de nódulos en las raíces, en los cuales se instalan.

Nódulos en las raíces de una mata de haba producto de la simbiosis entre la planta y las rizobacterias. En los primeros años que sembré mi huerta actual, las habas apenas echaban raíces y estas eran negruzcas y sin nódulos; esta foto es de Febrero de 2024, tras haberlo sembrado durante cuatro años y medio y sin haberlo arado el año anterior.

Así mismo, hay bacterias y levaduras (no se ha comprobado aún si ocurre con otros microbios) que no sólo habitan en los tejidos radiculares sino que son absorbidas por la planta para obtener los nutrientes que contienen en su interior -y a pesar de ello no mueren, sino que pueden volver al exterior y recomponerse-, en un proceso fascinante llamado rizofagia que describiré en otro apartado.

Por otra parte, no sólo en las raíces sino en todas las partes de una planta se encuentran bacterias en su interior, también para ellas como para nuestro organismo (nuestra flora intestinal por ejemplo), las bacterias son imprescindibles. Algunas especies adaptadas al frío que habitan en la superficie de las hojas incluso evitan que estas se congelen. Ese otro hábitat, el de las partes aéreas de las plantas, llamado filosfera, es otro mundo lleno de seres vivos en el que también se están descubriendo relaciones asombrosas.

Los hongos, bacterias, levaduras, mohos y actinomicetos por una parte son los encargados de descomponer la materia orgánica (con ayuda de enzimas que liberan, moléculas estas básicas para cualquier función de los seres vivos) incorporándola al suelo, mejorando así su estructura y su capacidad para retener agua y nutrientes, y transformándose finalmente en el humus, material formado por partículas tan pequeñas -consideradas coloides- que forman parte y se mueven en el ámbito de la electricidad.

El humus atrae y retiene elementos nutrientes (explicaré esto en otro apartado) y contiene ácidos húmicos y fúlvicos que en estado líquido son absorbidos por la planta y favorecen su crecimiento y desarrollo.

Los microorganismos ayudan a disgregar y descomponer los minerales para obtener los elementos de los que se nutren las plantas, y no solo eso sino que son los encargados de solubilizar, transformar y movilizar estos elementos que las plantas necesitan en mayor o menor cantidad. Son los llamados macro y micronutrientes -estos últimos llamados también oligoelementos-, los principales son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, hierro, molibdeno, boro, cloro, cobre, zinc y azufre. Además, aunque no se consideran esenciales, se sabe que son beneficiosos para ellas el silicio, el aluminio, el selenio, el cobalto, el sodio, el titanio y el yodo.

Varios hongos de los géneros Trichoderma y Penicillium por ejemplo solubilizan el potasio, al igual que algunas especies de bacterias de los géneros Pseudomonas y Bacillus. Igualmente hay cepas de Pseudomonas y Bacillus que solubilizan el fósforo, como también lo hacen hongos de los géneros Aspergillus, Penicillium, Fusarium, Paecilomyces o Trichoderma, además de ciertos actinomicetos e incluso microalgas.

Entre los organismos que fijan nitrógeno en vida libre (sin vivir en simbiosis con las plantas) hay bacterias de los géneros Azotobacter, Azospirilus o Clostridium, además de arqueas, protozoos y cianobacterias o bacterias fotosintéticas. Los que lo hacen en simbiosis con plantas son bacterias pertenecientes a seis géneros, denominadas genéricamente rizobios. Hay otros organismos que como veremos se encargan de transformar ese nitrógeno fijado en forma de amonio en nitritos y luego en nitratos.

A veces, para evitar la competencia de otros organismos, algunos hongos y actinomicetos emiten antibióticos como la estreptomicina o la penicilina, estas sustancias podrían servir a las plantas para protegerlas frente a ciertas bacterias patógenas. Se trata de antibióticos que evitan la multiplicación de algunos grupos o especies de bacterias inhibiendo algunas funciones vitales o debilitando sus paredes celulares.

Así mismo, las bacterias del grupo de las PGPR que se asocian o habitan en las raíces producen antibióticos y metabolitos antifúngicos, además de inducir mecanismos de resistencia en las plantas.

Se han visto al microscopio hongos “echando el lazo” a nemátodos con sus hifas (filamentos) y estrangulándolos. Algunas especies de nematodos, aunque no es el caso de la mayoría de ellos, si hay desequilibrios y falta algún eslabón de la cadena trófica -como ocurre a escala macro con los animales-, pueden convertirse en plaga dañando las raíces de los cultivos. De ahí la importancia de que nuestro suelo sea un ecosistema diverso y lleno de vida también a escala microscópica.

Otra función que realizan de forma indirecta los microorganismos es ayudar a mantener la tierra suelta gracias a algunas sustancias aglomerantes o pegajosas que producen. Una es el biofilm o biopelícula, una capa viscosa que segregan bacterias y hongos para protegerse frente a la luz ultravioleta, la desecación o agentes antimicrobianos. Otra es la glomalina (GRSP o PSRG en inglés), contenida dentro de las paredes de las hifas y esporas de los hongos micorrícicos arbusculares o endomicorrizas, que son las que se introducen en las células de las raíces de las plantas. Cuando este hongo muere y se descompone, la glomalina queda libre en el suelo. Ambas sustancias facilitan la formación y mantenimiento de esos microagregados de los que hablé al principio.

En una huerta colindante con la mía que llevaba cuatro años sin sembrarse, podía meter la mano entera en la tierra con mucha facilidad, señal de que la estructura del suelo estaba ya en su estado natural. Aunque se había echado herbicida unos años antes, probablemente los micro, meso y macroorganismos ya la habrían vuelto a colonizar. La lluvia -fue una primavera buena- también habría ayudado a que estuviera suelta.

Una vez muertas, algunos tipos de bacterias también son de utilidad para las plantas, ya que su envoltura celular, al tener carga neta negativa, actúa como centro de intercambio catiónico atrayendo iones positivos de elementos y minerales de los que se alimentan las plantas. Esta cuestión de los centros de intercambio catiónico la explicaré también con más detalle en otro apartado.

• Cosechando microbios

Así pues, para introducir estos “ayudantes” en mi huerto me dediqué a coger mantillo de bosque para reproducir microorganismos nativos; se puede favorecer su multiplicación mezclándolo con algún material rico en carbono -el alimento de los microbios- como el salvado de trigo o la cascarilla de arroz, y activándolos con un poco de melaza o azúcar sin refinar disuelto en agua sin cloro. Esto se puede hacer en condiciones anaerobias (en un recipiente hermético), aerobias o en ambas (en dos fases). Se pueden también activar de forma líquida para que sean más fáciles de aplicar en el huerto, de nuevo en agua sin cloro y con un poco de melaza. En el método Jadam se utiliza patata cocida en vez de la melaza ya que el azúcar tiene un pH bajo.

A la hora de coger mantillo hay que buscar lugares que estén poco alterados por la actividad humana, pero que sean similares en cuanto a clima y altitud a nuestro huerto y no estén muy alejados de él, ya que el tipo de microbios que buscamos son lo que se darían en nuestro terreno de forma natural. No hay que coger la capa superficial sino el mantillo ya en descomposición que se encuentra debajo, junto al suelo. Pueden ser bosques o praderas, aunque en estas nos costará más porque en ellas no se acumula hojarasca.

También se pueden colocar trampas con arroz ligeramente hervido en el monte, lo que permite capturar hongos y bacterias sin tener que llevarse mantillo del campo. Para ello se corta la parte inferior de una botella de plástico (por ejemplo), se llena de arroz y se tapa con una tela ligera, que impida el acceso a las hormigas y otros animales pero que sea permeable y permita el acceso a los microbios. Se entierra ligeramente y se deja alrededor de una semana, dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura tardarán en colonizarla más o menos tiempo. Conviene colocarlos cuando la tierra esté húmeda, ya que habrá más cantidad de microorganismos en las capas superficiales. Un momento bueno puede ser a finales de verano o principios de otoño habiendo caído las primeras lluvias tras el periodo estival.

Trampas de arroz preparadas para ser colocadas por el campo (primera imagen) y una vez recogidas al cabo de unos diez días, ya inoculadas con los microorganismos del mantillo del bosque (segunda imagen).

En el mantillo de bosque puede haber ciertos organismos patógenos (que provocan enfermedades en las plantas) como algunos hongos, aunque hay otros hongos como por ejemplo Trichoderma harzianum y bacterias como Bacillus subtilis que controlan a estos patógenos. Las trampas con arroz son útiles para esto ya que por el color de los organismos capturados sabremos en líneas generales si son beneficiosos o patógenos; por ejemplo los hongos Trichoderma suelen presentar coloración verde y amarilla cuando esporula, los Penicillium presentan el típico azul verdoso, las bacterias del género Beauveria y de la especie Bacillus subtilis son blancas, y las del género Pseudomonas pueden mostrar diversos colores (rojo, verde amarillento y azul verdoso).

Las trampas de arroz se pueden usar desgranadas enterrando o mezclando los granos con la tierra ligeramente para que la radiación solar no mate los microbios, y si el terreno es medianamente grande se pueden inocular con ellos nuevas trampas de arroz en condiciones de oscuridad y temperaturas suaves para disponer de más cantidad. Para grandes superficies se pueden reproducir en agua sin cloro en condiciones aerobias (oxigenando el agua con una bomba) con azúcar y algo de ceniza (para equilibrar el pH ácido del azúcar).

Otro tipo de bacterias que se pueden reproducir son las ácido-lácticas, en este caso solo hace falta lavar con agua sin cloro -mejor si es de lluvia- una pequeña cantidad de arroz, ese agua se deja a oscuras y a una temperatura de unos 20º, y si todo va bien empezará a tener un olor láctico. Entonces le añadiremos leche para aportar más alimento a esas bacterias y se formará una cuajada, en total se tarda unos tres días (yo lo obtuve en menos incluso). El suero restante será la fuente de bacterias que utilizaremos tanto para descomponer materia orgánica como para combatir algunos hongos patógenos, también sirven para eliminar malos olores (pulverizando en el cubo de la basura por ejemplo). Se conservan refrigeradas y para utilizarlas se diluye una pequeña cantidad en agua sin cloro.

Cultivo de bacterias ácido-lácticas.

• Otros habitantes del ecosistema suelo

Otros habitantes del suelo y del mantillo son los colémbolos, también imprescindibles en el ecosistema de nuestro huerto. Estos intervienen en la llamada bioturbación, que es la movilización y mezcla de partículas de distintos tamaños debida a la actividad de la fauna. Además interactúan con muchos otros seres vivos, ya que aparte de alimentarse de detritos (materia orgánica muerta o en descomposición), algunas especies se alimentan de esporas de hongos patógenos, otras de nemátodos, de bacterias y también de polen.

Las lombrices por su parte aumentan la capacidad de intercambio catiónico de las arcillas (más adelante explicaré esto detenidamente), haciendo que atraigan más elementos nutritivos para las plantas. Además excavan muchas galerías, llevando oxígeno y agua a partes más profundas y facilitando el crecimiento de las raíces, e ingieren al día casi su peso en tierra y materia orgánica, moviendo y transformando en su tubo digestivo al cabo del año mucho volumen de suelo, enriqueciéndolo de esta forma. Generan también ácidos húmicos que favorecen un buen enraizamiento, incrementan el fósforo disponible hasta en cuatro veces más y convierten el nitrógeno en formas más asimilables por las plantas.

Buscan activamente hongos descomponedores de los que también se alimentan, y prefieren entornos donde se mantenga un buen grado de humedad pero huyen de las zonas encharcadas.

Hay tres clases de lombrices; las epigeas, que habitan en la superficie o en el mantillo y los restos vegetales, las endogeas, que son las típicas lombrices de tierra que excavan galerías horizontales temporales, y las anécicas, que solo excavan largas galerías verticales permanentes y son menos activas.

De estos anélidos hablaremos un poco más en otro capítulo.

Lombrices en el compost. Poco a poco he visto cómo han ido aumentando en número en mi huerto actual.

Existen otros habitantes del suelo como ácaros, miriápodos (milpiés), cochinillas de la humedad (también conocidos como bichos bola), gusanos blancos, babosas, caracoles, grillotopos o alacranes cebolleros, etc. Todos los organismos tienen su función y su lugar en la cadena trófica, desde los micro hasta los macroorganismos, y solo si se produce algún desequilibrio o falta de alimento algunos pueden resultar dañinos para los cultivos.

Manejo orgánico

• ¿Hay que oxigenar la tierra y dejarla suelta?

Hay cierta obsesión entre los hortelanos sobre la compactación del suelo, siempre dicen que no hay que pisarlo mucho y que hay que mantener la tierra suelta y labrada. Ya he comentado antes que como realmente se mantiene suelta la tierra es dejándola sin arar (otra cosa es que a lo mejor en algunas situaciones concretas o especiales haya que hacerlo) y favoreciendo a los micro, meso y macroorganismos -como las lombrices-, que son los que realmente saben hacerlo.

Además de la costra superficial tras lluvias intensas, arar en profundidad suele producir la llamada suela de labor, que es la compactación de la capa de tierra que queda justo por debajo de la parte arada.

Labrar con frecuencia también provoca la pérdida de suelo fértil, materia orgánica y nutrientes tanto por lavado -en terrenos con pendiente sobre todo- como por volatilización, perdiendo y liberando a la atmósfera carbono y nitrógeno por ejemplo (se pierden grandes cantidades de fertilizantes químicos de esta manera). También destruye parte del micelio de las micorrizas, las galerías de las lombrices, en especial de las anécicas (las que solo se desplazan en vertical), a las propias lombrices, y expone a bacterias y hongos a la radiación ultravioleta que los mata.

Rompe además la capilaridad que permite que suba la humedad de capas más bajas, y en zonas donde el sustrato rocoso es calcáreo, si se labra, los pedazos de roca se van a hacer cada vez más pequeños, se van a ir degradando y van a formar parte de las partículas del suelo, subiendo aún más el pH y volviéndose más reactivo al menos durante un tiempo tras haber arado.

Otra cuestión es la de si hace falta airear para meter oxígeno. Puede que esto tenga algún efecto positivo, podemos pensar que les va a llegar más oxígeno a los microorganismos aerobios, pero también al exponerlos a la radiación solar van a morir muchos, y otros quedarán en perfiles del suelo más profundos donde no van a tener suficiente oxígeno. Además hay que pensar que en el suelo no sólo hay microorganismos aerobios, también los hay anaerobios y facultativos (que se adaptan tanto a la presencia como a la ausencia de oxígeno), todos ellos necesarios. Si al arar los anaerobios acaban en capas superficiales, también perecerán.

Meter oxígeno sólo haría falta en entornos hiperreducidos (este tema de la oxidación/reducción lo trataré después) como son las turberas y los terrenos pantanosos, medios saturados de agua los cuales no son muy habituales en nuestra península, sobre todo en la España seca. Mucho más frecuentes son los suelos hiperoxidados, precisamente debido a la costumbre de arar. En estos terrenos frecuentemente labrados suelen salir muchas amapolas rojas, un síntoma de esta hiperoxidación (la cual no es buena).

Por otra parte, el laboreo seguramente favorezca la proliferación de hormigas y topillos, plagas que comencé a tener en los huertos hace unos cuantos años. En el caso de las hormigas pienso que también el cambio climático, en especial las anomalías que se han producido en la última decena de años, ha influido mucho.

En cuanto a las hierbas adventicias, al competir por el espacio y la luz con las hortalizas llegando en algunos casos a “ahogarlas”, se hace necesario cierto control en las primeras etapas del cultivo. Hay que evitar en cualquier caso que sobrepasen un tercio de la altura de las hortalizas, ya que si lo hacen les llegará poca luz a las hojas de la parte baja y no podrán hacer la fotosíntesis. Las hierbas nativas o adventicias siempre van a crecer más rápido que las plantas cultivadas, por ello hasta que estas alcancen cierto desarrollo hay que evitar que prolifere mucho la hierba.

Si no se ara y se acolcha, las plantas anuales como la grama se ven mermadas, puesto que la perturbación del suelo que provoca el arado cada año les favorece, ya que echan muchas semillas que germinarán al año siguiente. Si el acolchado se realiza con alguna planta que tenga propiedades alelopáticas como la alfalfa, la mostaza o la colza, se inhibe en buena medida la aparición de hierbas, aunque según se va descomponiendo el efecto disminuye, lógicamente. Se pueden utilizar también este tipo de plantas como cultivo de relleno o como abono verde con la misma finalidad.

En grandes superficies, tanto para cereal como para hortalizas, una solución poco dañina y efectiva es el uso de la grada de púas, que araña el suelo con precisión para desarraigar las pequeñas hierbas en el momento en que salen sin apenas dañar los cultivos.

Una vez los cultivos han alcanzado cierto desarrollo, se puede dejar salir y crecer la hierba siempre que no sombreen en exceso a las plantas, pues tienen muchos más beneficios que desventajas: mantienen fresco el suelo -más aún que el acolchado- al cubrirlo y también debido a la transpiración; inyectan carbono en el suelo a través de los exudados; atraen polinizadores/depredadores; atraen insectos plaga de especies que no afectan a los cultivos pero que alimentan a los depredadores -las llamadas plantas banker-; y atraen microorganismos, entre otros aspectos favorables.

A escala de huertas familiares, siempre es preferible segar que cavar, o hacerlo muy superficialmente para eliminar hierbas recién brotadas con una herramienta apropiada para ello como la azada holandesa o la escarda de alambre. Segar permite que las raíces de las hierbas adventicias sigan interactuando con microorganismos, además de que, una vez muertas las raíces, estas se pudren dejando libre el espacio que ocupaban. Por estos motivos también es preferible cortar las hortalizas cuando finaliza su ciclo en vez de arrancarlas.

• El compost

Hemos visto la importancia que tiene la materia orgánica para la agricultura y el suelo. Por dar un dato sobre la capacidad que tiene para retener agua: según la FAO, cada kilo de materia orgánica (MO) contenida en el suelo es capaz de retener 20 litros. Idealmente un terreno debería tener al menos un 3% de MO, de forma que en una hectárea de tierra con una densidad media de 2. 200 kg/ m3 (aunque esto varía según la granulometría sobre todo), una capa fértil de 10 centímetros de profundidad y un 3% de MO, tendríamos 66.000 kg de materia orgánica capaces de retener 1.320.000 litros de agua, o lo que es lo mismo, 132 litros por metro cuadrado.

Esto es algo a tener en cuenta sobre todo ahora que el régimen de lluvias en general se está alterando, con sequías y lluvias torrenciales cada vez más recurrentes. Unos suelos sin compactar y con suficiente materia orgánica favorecerían la resiliencia de los cultivos ante las sequías y reducirían las escorrentías que contribuyen a las riadas que tantos daños provocan.

El tipo de materia orgánica que tradicionalmente se ha aportado en las huertas y se sigue aportando al menos aquí en la zona centro es estiércol fresco o maduro (es decir, que se ha tenido a la intemperie pero no se ha compostado). Lo que se hace es envolverlo con la tierra al arar, pero esto además de crear un desequilibrio al haber un exceso de nitrógeno en el suelo, sobre todo si son estiércoles puros o fuertes como el de oveja y cabra, no tanto los que contienen bastante fibra sin procesar y/o van mezclados con cama de paja o serrín, como es el de caballo. Además no es bueno para algunos cultivos al estar poco descompuesto.

El material que se aporte tendría que ser lo más variado posible y siempre tienen que abundar más los materiales secos, carbonosos o ricos en celulosa, que los frescos o ricos en nitrógeno. La proporción carbono/nitrógeno idónea que tendría que tener un compost para hacerse correctamente y en un tiempo razonable es de 35 a 1, o al menos tendría que estar entre 25/1 y 40/1 (a lo sumo 50). Si fuera mayor también acabaría descomponiéndose, pero tardaría demasiado tiempo.

Aquí hay que tener en cuenta que todos los materiales, sean secos o frescos, contienen C y N y que en cada uno la proporción es diferente, y aunque no vayamos a hacer cálculos exactos de volúmenes o de pesos a la hora de compostar, conviene conocerla para saber más o menos si nuestra mezcla es equilibrada. Por dar unas cifras aproximadas, en el estiércol de caballo es de 30 a 1; en el de oveja, de 20 a 1; en el de vaca, de 15 a 1; en la hierba verde segada, de 20 a 1; en las hojas caídas, de 40 a 1; en la paja de cereales (aunque varía un poco según la especie), de 80 a 1 por lo general. Entre los materiales con más contenido en nitrógeno está la gallinaza (entre 5 y 10 partes de C por cada parte de N), y entre los más carbonosos, el serrín (unas 500 partes de C por cada parte de N).

En el compost se puede echar casi de todo, también restos animales (de carne y pescado) siempre que haya una proporción correcta con el resto de materiales. Se pueden echar restos de cultivos afectados por hongos superficiales como los oídios (no así por otros hongos y oomicetos presentes en el suelo, tampoco por virus), ya que estos hongos solo subsisten y proliferan sobre plantas vivas.

Hay que aprovechar todo lo que se tiene a mano: cartón marrón (que les gusta mucho a las lombrices), restos de poda o de siega (siempre que alguien los desecha me los llevo al huerto), posos de café -que contienen nitrógeno-, los higos picados que caen si tenemos alguna higuera, restos de las uvas si tenemos vides, restos de cocina o restos menudos de corteza y serrín que cojo del aserradero. Aunque no se puede echar mucha cantidad de esto último debido a la gran cantidad de carbono que contiene, como ya he comentado. El azúcar de higos y uvas ayuda a activar los microorganismos.

Un aspecto clave es mantener una humedad adecuada, del 45 o 50%, como mucho del 60%. Para comprobar el grado de humedad se hace la prueba del puño; se coge un puñado y al apretarlo con fuerza tiene que quedarse con la forma pero también tiene que deshacerse con facilidad al desmenuzarlo.

También hay que controlar un poco la temperatura; si el montón tiene suficientes microorganismos o los hemos añadido echando mantillo de bosque, trampas de arroz, o bien hemos activado la vida microbiana con ayuda de melaza u otras fuentes de azúcares, es probable que la temperatura suba mucho debido a la actividad de estos.

Para evitar que se alcancen temperaturas demasiado elevadas que “cauterizarían” la materia orgánica, provocarían la pérdida de energía y nutrientes y matarían muchos microbios -las bacterias nitrificantes por ejemplo mueren a temperaturas superiores a 65º-, es preferible que la pila de compost no pase de 40 o 50 centímetros de altura, disponiéndolo en una hilera mejor que en un montón voluminoso. En la naturaleza si nos fijamos la capa de materia en descomposición apenas tiene espesor y tarda mucho más en convertirse en humus (la naturaleza no tiene prisa), de forma que apenas se calienta.

La pila de compost tiene que estar a la sombra para evitar que se seque rápidamente y que la radiación ultravioleta afecte a los microbios, si se seca hay que regarlo -siempre con agua sin cloro- y si llueve mucho conviene taparlo para evitar que se empape demasiado y se lave. Yo lo cubro con material seco (palos, hierba segada, restos de cultivos) para evitar que le dé el sol si es que está expuesto.

Suelo empezar a hacerlo en otoño, cuando hay más material disponible como hojarasca, higos caídos, restos de poda, hollejos y raspones de las uvas, etc. A comienzos de primavera lo echo en superficie y lo cubro con una ligera capa de hierba cortada para que el sol no lo seque ni mate los microbios. También en primavera hago una pila a veces si encuentro bastantes restos de siega y poda: esta tarda menos en descomponerse debido al calor y en pocos meses está lista.

Compost listo para utilizarlo en el huerto.

• Fomentando la vida microbiana y controlando patógenos

Hay preparados de plantas que se pueden aplicar para favorecer la presencia de bacterias, como el purín de diente de león, el de consuelda rusa o el más conocido purín de ortiga. Eso sí, si lo que queremos es que tenga la mayor cantidad de bacterias vivas posible no hay que dejar que huelan mucho, porque para entonces ya se les habrá acabado el alimento y lo que habrá será un montón de bacterias muertas (que tampoco viene mal, pero no es lo que queremos obtener).

Ya vimos antes cómo obtener bacterias ácido-lácticas, que además de ayudar en la descomposición de la materia orgánica, son útiles para prevenir infecciones por hongos en las plantas debido a que se multiplican de una forma exponencial y no dejan espacio donde el hongo se pueda instalar o multiplicar.

Hay otros preparados que se pueden aplicar a las plantas para hacerlas más resistentes a los hongos patógenos; uno es la decocción de cola de caballo, que además de contener algunos compuestos tóxicos para los hongos como saponinas, flavonoides o nicotina, contiene mucho silicio en forma de ácido silícico. Como vimos, este elemento refuerza las paredes celulares y la cutícula cerosa, puede activar genes que intervienen en la respuesta inmunitaria de las plantas, e interviene también en la síntesis de sustancias antifúngicas que producen algunas plantas como la mostaza. El silicio tiene propiedades secantes, por lo que no conviene aplicar este preparado en verano o en épocas secas.

Otro preparado es la infusión (que no purín) de diente de león, aprovechando sobre todo la raíz en el caso del diente de león porque es donde se concentran las saponinas (compuesto que forma parte de las defensas de las plantas y como digo es tóxico para los hongos).

El que en mi caso ha dado mejor resultado para ciertos hongos es una elaboración que sirve tanto como fungicida -salvo para el oídio de las cucurbitáceas, pues hay muchos tipos distintos de oídios que afectan a diferentes plantas-, como para repeler insectos e incluso para ahuyentar mamíferos. Se trata del extracto de ajo macerado en aceite, una receta de Eric Petiot. Se elabora picando finamente ajo (si es viejo mejor) para dejarlo embebido en un poco de aceite entre 12 y 24 horas. Después se lava con agua tibia para obtener los compuestos de azufre del ajo, que son los que actúan como repelente y como fungicida. Este agua se deja reposar un par de días y se diluye al 10%, al 5% si es para árboles, añadiendo jabón potásico como tensioactivo -para reducir la tensión superficial del agua-. Se aplica al anochecer ya que con luz puede quemar las plantas.

Estos remedios para prevenir o controlar posibles enfermedades y plagas deben ser un complemento a la búsqueda y solución (si la hay) del origen del problema.

El FPJ o jugo de plantas fermentadas es una preparación empleada en la agricultura natural coreana. Para elaborarlo se cosecha alguna hierba adventicia u hortaliza que destaque por su crecimiento vigoroso en nuestro terreno. Se trituran las partes tiernas (desechando tallos leñosos) y se mezcla a partes iguales con azúcar integral o sin refinar, amasando la mezcla y comprimiéndola, para dejarla fermentar durante unos días en un lugar oscuro. Se extrae el líquido que han soltado las plantas y se utiliza diluido en agua.

El biocarbón procedente de la combustión incompleta de leña u otros materiales como corcho o cáscaras de frutos secos, mejor si está triturado o desmenuzado, al ser un material tan poroso es un buen refugio para los microorganismos y también retiene humedad. Se puede añadir al compost para que se pueble ahí de microbios y también se puede aportar directamente a la tierra.

• Problemas con la tierra: diagnosis y búsqueda de soluciones

Pasar del laboreo a no arar, en determinados tipos de terreno como los arcillosos, posiblemente no dará buenos resultados en los primeros años. Una de las causas puede ser la estratificación de algunos nutrientes, en especial el fósforo y el potasio, que tienen muy poca movilidad en el suelo. Al no ser removida la tierra y al aportar las enmiendas o los fertilizantes en superficie, estos se quedan arriba.

Aunque este no fue mi caso, lo cierto es que cada año que sembraba mi huerta actual iban creciendo menos las plantas y dando menos fruto -ya antes de dejar de arar-, aunque había zonas que desde un principio presentaron más problemas que otras al tener peor suelo.

Por los síntomas que empecé a ver en las hojas de algunas plantas, creía que había una carencia de potasio en el suelo. Con el tiempo me dí cuenta de que lo que faltaba en realidad era magnesio, una deficiencia típica de estos terrenos silíceos (la huerta está en zona granítica y de hecho tiene algunas rocas). Los síntomas son muy parecidos, generalmente un amarilleamiento o clorosis en las hojas bajas o de más edad especialmente en sus bordes y con manchas necróticas, que si el problema se agrava va extendiéndose a las hojas nuevas.

Además, se ha comprobado en experimentos que altas luminosidades (como las que estamos teniendo en los últimos años) causan más síntomas de deficiencia de este nutriente en las plantas, y que al sombrear una parte de las hojas esta se mantiene verde y sin clorosis.

La carencia de magnesio se manifiesta a veces en un amarilleamiento general de las hojas ya desarrolladas salpicado de manchas necróticas marrones (izquierda), otras veces el amarilleamiento y la necrosis aparecen solo en los bordes de las hojas manteniéndose verdes las nervaduras y el centro (derecha).

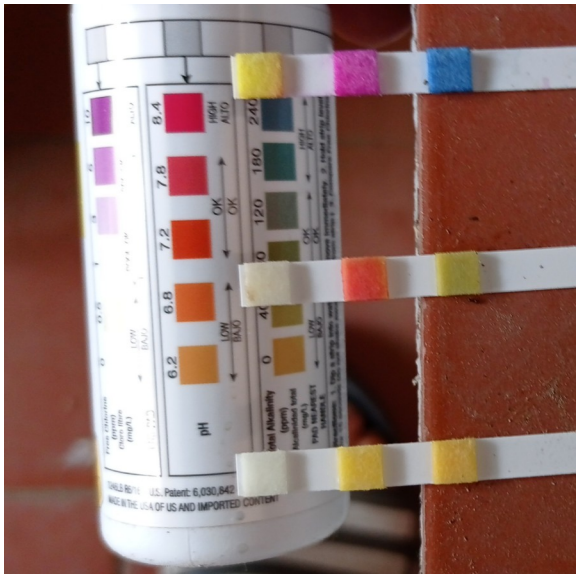
También empecé a observar una carencia de boro, que suele ocurrir en suelos arenosos como este donde se lava fácilmente con las lluvias. Esta deficiencia se manifiesta en deformaciones o atrofia en el crecimiento de árboles y plantas y también porque las plantas de la familia de la col presentan un hueco central en el interior del tronco.

Claro que podía darse el caso también de que a pesar de que no faltara ni magnesio ni boro en la tierra, el pH de esta fuera demasiado ácido para que las plantas los pudieran asimilar, ya que cada elemento o nutriente tiene baja solubilidad en determinados rangos de pH mientras que en otros está más disponible. Por ejemplo, en suelos ácidos no son capaces de asimilar bien el fósforo, el calcio, el magnesio, el molibdeno y el boro, mientras que en suelos básicos puede haber poca disponibilidad de hierro, zinc, cobre y manganeso. En suelos neutros con un pH de entre 6 y 7 no suele haber problema.

El pH por cierto, no es otra cosa que la proporción entre hidrones o iones positivos de hidrógeno y aniones hidroxilos (grupo compuesto por oxígeno e hidrógeno con carga negativa) que hay en una sustancia.

Hay distintos mecanismos y medidores en el mercado que se comercializan para la medición del pH, unos empleados normalmente para piscinas y otros más adaptados para medir directamente el pH del suelo. Algunos de estos últimos no son muy fiables, otros resultan caros para el uso que generalmente le vamos a dar y para el nivel de precisión que requerimos, ya que con un valor aproximado nos basta.

Lo más sencillo y práctico es usar tiras reactivas, aunque para medir correctamente el pH del suelo hay que seguir ciertas pautas: se cogen pequeñas muestras de tierra (de distintas partes del huerto para hacernos una idea general) y se dejan secar al sol, tras lo cual se desmenuza o se machaca si está dura. Se cierne con un colador para que quede fina y se pone en un frasco con el doble de su cantidad de agua destilada. Se agita bien y se deja reposar cuatro o cinco horas, tras lo cual se agita de nuevo y se deja reposar hasta el día siguiente. Entonces mojamos brevemente las tiras en el agua y esperamos un momento a que se coloreen las almohadillas absorbentes.



Midiendo el pH mediante tiras reactivas. La de arriba la mojé en una solución alcalina, la del centro en una muestra de tierra del huerto, y la de abajo en una solución ácida (la almohadilla central de las tiras es la que indica el pH). Las muestras del huerto dieron valores neutros.

Los suelos ácidos se pueden corregir aportando cal o bien carbonato cálcico (dolomita molida), debiendo echar más o menos cantidad dependiendo de si el suelo es arcilloso, limoso, franco o arenoso. Los suelos básicos se corrigen echando azufre o bien sulfato de hierro.

También se pueden comprar y aplicar soluciones tampón (buffer en inglés) que equilibran el pH, tanto si es demasiado bajo como si es demasiado alto. En la naturaleza también hay sustancias que actúan como buffer o tampón llevando el pH a niveles más neutros: en nuestra sangre por ejemplo es la hemoglobina la que lo hace, en el suelo son determinadas sustancias excretadas por los microorganismos las que realizan esta labor.

Por otra parte, se puede dar el caso de que un exceso de algún mineral o elemento bloquee la absorción de otro; esto se produce por competencia entre iones con propiedades similares como el tamaño o la valencia. Por ejemplo, el magnesio es antagonista del calcio, del manganeso y del potasio, el potasio también lo es del amonio, los nitratos lo son del cloro, el fósforo lo es del zinc, y el cobre lo es del nitrógeno.

También se produce el efecto opuesto, es decir, sinergismo entre nutrientes donde la presencia de uno aumenta la absorción de otro u otros, o dicho en otras palabras, si falta o no se administra cierto nutriente, el otro se acumula en exceso provocando que la planta deje de absorberlo. Es el caso de los nitratos cuando no se aplica al mismo tiempo potasio o azufre (y los fertilizantes habituales no suelen llevar azufre, por lo que la absorción de los nitratos baja y hay que echar más). Así mismo, algunos elementos potencian el efecto de otros una vez asimilados por la planta ya que facilitan su transporte.

Por otra parte, hay que señalar que una cosa es la presencia de elementos en formas solubles en el suelo y otra distinta es la cantidad de estos nutrientes que están absorbiendo y asimilando las plantas, ya que en algunos casos su transporte dentro de la planta es algo complicado y tardan mucho en llegar a las partes aéreas de esta desde las raíces.

Para evaluar esto, aparte del pertinente análisis del suelo, se suelen realizar análisis foliares y recientemente se han empezado a hacer análisis de savia -que se obtiene estrujando peciolos de las hojas-, estos son más completos y más inmediatos que los foliares al obtenerse los resultados al momento en el campo. Se pueden complementar asimismo con mediciones de la conductividad eléctrica del suelo y con los sistemas de teledetección satelital para medir los índices de verdor o vegetación (NDVI, GNDVI, NDRE), que cuantifican la luz absorbida y reflejada por el follaje, evaluando así su contenido de clorofila. El uso combinado de varias de estas herramientas es lo que nos puede ofrecer una información más precisa sobre el estado nutricional de las plantas, pudiendo así detectar con antelación posibles problemas antes de que se manifiesten sus síntomas.

Volviendo a mi caso, la falta de magnesio se puede tratar de paliar con sales como el sulfato de magnesio, aunque estas sales se pierden en gran cantidad por volatilización y por lavado, debido a lo cual hay que aplicarlas con bastante frecuencia y resulta costoso.

Es preferible aportar estos elementos en forma de harinas de roca ricas en ellos o en forma de óxidos obtenidos a partir de la calcinación del mineral o la roca, como el de magnesio, que no es otra cosa que magnesita calcinada (así como la cal es óxido de calcio a partir de la calcinación de roca calcárea).

Estas enmiendas minerales no se aprovechan de una forma tan rápida como las sales, ya que además de no ser un fertilizante soluble requieren de la intervención de los microorganismos para que los elementos que contienen puedan estar disponibles para las plantas, por lo que hay que aplicarlas con varios meses de antelación al cultivo.

Hay distintos tipos de harinas de rocas que podemos utilizar según los elementos que queramos aportar al suelo: zeolitas, que aportan silicio y aluminio; roca basáltica, que contiene silicio, aluminio, calcio, magnesio y hierro; roca fosfórica, que aporta calcio y fósforo sobre todo; leonardita, que es una especie de carbón fósil rico en ácidos húmicos; o la dolomita, que contiene calcio y magnesio.

Mezclando roca fosfórica (de color beige o marrón claro) con otras enmiendas para añadirlas al compost, donde los microorganismos empezarán a procesarlas.

Basalto micronizado, una buena fuente de magnesio y de otros muchos elementos. Las rocas micronizadas (en forma de harina o polvo) se procesan y asimilan más fácilmente y su efecto es más rápido que las que se presentan menos molidas.

También se puede considerar la ceniza como enmienda por su contenido en potasa, aunque hay que tener cuidado por su pH tan alcalino y los metales pesados que contiene, para ello es mejor dejarla a la intemperie durante bastante tiempo (varios meses al menos) hasta que le baje el pH, y no abusar de su uso.

La tierra de diatomeas, que no es otra cosa que los caparazones de sílice de ciertas algas unicelulares, cuando está micronizada se puede utilizar como fertilizante al ser rica en silicio y es útil también para reducir la población de hormigas si constituyen una plaga, eso sí, como mejor funciona es a presión en los hormigueros y galerías. Hay que proteger las vías respiratorias al aplicarla para evitar inhalar el polvo, que puede ser dañino a la larga para los pulmones debido a la silicosis.

Por último, la harina de huesos, la harina de sangre y la harina de plumas son enmiendas de origen animal que aportan fósforo, calcio y nitrógeno al suelo. En el caso de la harina de huesos, se trata de huesos calcinados y molidos, constituidos por fosfato de calcio. De los huesos calcinados y molidos también se pueden obtener fosfitos mediante una combustión lenta e incompleta junto con algún material rico en sílice como la cascarilla de arroz. Los fosfitos sirven como fungicida pulverizados sobre la planta y además refuerzan sus defensas, lo que no está demostrado es que valga como fertilizante, de hecho puede inhibir la absorción de fosfatos.

• Quemando billetes

Eso es lo que se hace cuando se retiran y queman los restos de los cultivos, ya que los nutrientes que la planta utilizó para crecer y que quedan en su organismo se pierden cuando retiramos los restos en vez de picarlos e incorporarlos, aunque para esto (como para otras cosas) hace falta invertir en maquinaria cuando se trata de grandes superficies. No obstante la inversión valdría la pena, ya que por ejemplo si se quema el rastrojo del cereal, se pierde ya sólo por volatilización durante la quema entre el 98 y el 100% del nitrógeno que contiene, entre un 20 y un 40% del fósforo y del potasio y entre un 70 y un 90% del azufre, eso sin contar las pérdidas por arrastre de las cenizas a causa del viento y el agua. Eso traducido en fertilizantes inorgánicos es mucho dinero perdido (aunque obviamente esos nutrientes orgánicos de los rastrojos se transformarían y liberarían lentamente).

El rastrojo picado se puede dejar en superficie, pero si se quiere acelerar el proceso de descomposición hay que mezclarlo con las primeras capas de tierra, con un pequeño aporte de abono nitrogenado o enmienda orgánica rica en nitrógeno si se quiere, para equilibrar la proporción C/N y evitar el posible secuestro de nitrógeno que se pueda producir.

Si consideramos una cifra de ocho toneladas de rastrojo de cereal (siguiendo con este ejemplo) por hectárea, tendremos 1,3 toneladas de humus -recordemos que es la fracción estable de materia orgánica que queda tras la descomposición- al año aproximadamente, además de otros beneficios como una mejora en la estructura del suelo -reteniendo más agua y aire- y la liberación de sustancias beneficiosas o nutrientes durante la descomposición. A la vez, los fertilizantes o los nutrientes de las enmiendas minerales que se echen en un futuro quedarán más retenidos y disponibles gracias a ese humus, perdiéndose en menor cantidad y reduciendo el riesgo de contaminación.

El concepto de orden y limpieza que se ha inculcado siempre nos impide dejar los restos de cultivos y de poda por el suelo para que se vayan integrando poco a poco, teniendo que recogerlos y acumularlos en montones para luego quemarlos. Esto ocurre también en aprovechamientos forestales como el que se realiza en este encinar.

¿De qué está hecha una planta y cómo se alimenta?

• Composición de una planta e intercambio iónico con el medio

Analizando los elementos que componen una planta teniendo en cuenta su peso en seco, encontramos que está constituida en su mayor parte por oxígeno, carbono e hidrógeno; el carbono lo capta del aire en forma de dióxido de carbono mediante la fotosíntesis, el oxígeno lo capta tanto del aire como del agua y del suelo, y el hidrógeno lo obtiene del agua. Para transformar y aprovechar estos elementos, la planta necesita de la luz solar. Así pues, las plantas medran básicamente a partir del aire, del sol y del agua.

Los agricultores neerlandeses en sus invernaderos abonan con dióxido de carbono en estado líquido porque saben que las plantas son carbono y oxígeno en su mayor parte y son los elementos que más necesitan.

Hay otros elementos que componen la planta y que son necesarios para su crecimiento pero en cantidades más pequeñas; los tres principales son el nitrógeno, el silicio y el potasio, conformando cada uno alrededor de un 1% de la planta.

El nitrógeno lo obtienen las plantas tanto de la atmósfera (concretamente del aire contenido en el suelo) como del propio suelo, e incluso captan el que contienen las bacterias en su organismo como veremos luego. Las plantas solo son capaces de asimilarlo en forma de amonio o de nitratos; dependiendo de la especie y de las condiciones ambientales y del suelo varía la absorción de ambos, aunque los nitratos se lavan y se pierden más fácilmente por su carga eléctrica como veremos.

El amonio, además de formarse durante tormentas eléctricas y erupciones volcánicas, en su mayor parte lo obtienen bacterias y protozoos como ya vimos, tanto en vida libre como en simbiosis con las plantas. Por otra parte, para obtener nitratos primero hay que convertir ese amonio en nitritos, y luego estos nitritos en nitratos. Esta labor la hacen arqueas y bacterias nitrificantes como las del género Nitrosomonas por medio de la oxidación.

El silicio es, junto con el oxígeno, el elemento más abundante de la corteza terrestre, y es necesario para las funciones vitales de los seres vivos. En las plantas refuerza las paredes celulares y la cutícula cerosa que recubre hojas, frutos y tallos, esta es una barrera que dificulta el acceso de los insectos chupadores a la savia -en especial la capa cristalina que contiene- y protege a la planta de la radiación ultravioleta, pero también algunos componentes de las ceras tienen función aleloquímica, repeliendo insectos, hongos y otros patógenos.

Se ha descubierto además que el silicio podría activar ciertos genes que regulan la respuesta inmunitaria de las plantas.

El fósforo, a pesar de constituir una parte insignificante de la planta es el segundo elemento más limitante para el desarrollo de las plantas después del nitrógeno. No hay fósforo en forma pura en la naturaleza ya que es muy reactivo y se oxida y combina fácilmente con otros elementos, lo que existe son compuestos como los fosfatos, iones fosfatos, fosfitos y ortofosfatos, en los cuales se combina con oxígeno e hidrógeno. Las plantas asimilan algunos de estos compuestos inorgánicos de fósforo, un elemento que participa en casi todas las funciones metabólicas principales de la planta, incluidas la fotosíntesis y la respiración. También es básico para el desarrollo de las raíces.

Siempre se han considerado N, P y K (nitrógeno, fósforo y potasio) los nutrientes principales y en ellos se han basado los fertilizantes de síntesis, ignorando la importancia que tiene el magnesio, el calcio o el silicio, y que el resto de elementos, aunque se necesiten en cantidades ínfimas, si no están disponibles o faltan, las plantas no van a poder realizar sus funciones ni crecer adecuadamente ya que son los que activan las enzimas, que son las catalizadoras (aceleradoras) que intervienen en la formación de sustancias y en las reacciones químicas que se producen en cualquier organismo vivo.

Varios de ellos, como es el caso del magnesio, el manganeso, el zinc, el cloro o el cobre, tienen un papel clave en la fotosíntesis -y la deficiencia de magnesio se agrava en condiciones de gran intensidad lumínica como las actuales-, en la formación de ATP (molécula fundamental en los seres vivos), en la síntesis de proteínas, vitaminas y carbohidratos, en la respiración celular, en la asimilación de nitrógeno, en la fabricación de hormonas, en la producción de polen, en la capacidad para resistir enfermedades etc.

Todos estos nutrientes que la planta tiene que obtener necesariamente del suelo los capta en su mayoría mediante intercambio de iones con distintas cargas eléctricas, a excepción de algunos como el boro y el molibdeno cuyos iones son absorbidos con el agua por ósmosis.

Durante la fotosíntesis la planta separa las moléculas de agua, es decir, separa los átomos de hidrógeno del átomo de oxígeno. Este hidrógeno, en forma de hidrones (o lo que es lo mismo, protones o iones positivos de H, que son la “pieza de Lego” básica con la que se forman todos los demás elementos presentes en el planeta y en el universo), es la moneda de cambio que utiliza la planta para capturar iones de los elementos que necesita.

A través de sus raíces -de sus pelos radiculares y de la punta de cada raíz, más concretamente- aporta un hidrón y a cambio recibe un catión o ion positivo de potasio, de magnesio o de calcio, por ejemplo, pero para ello es necesario un intermediario con carga negativa, y ahí es donde intervienen las partículas de arcilla y sobre todo de humus.

Las partículas de tierra y de humus tienen carga negativa y atraen cationes de potasio, de magnesio, de hierro, de aluminio, de calcio, de amonio, de manganeso, de cobre o de sodio, esto es lo que se llama capacidad de intercambio catiónico (CIC). No obstante, no todas las partículas de tierra tienen esta capacidad; mientras que algunos tipos de arcillas, debido a su pequeño tamaño, son capaces de atraer bastantes iones, los limos y otras clases de arcillas atraen menos iones, y las arenas, mucho más grandes, tienen una capacidad de intercambio muy baja. Así, si tenemos un suelo arcilloso será mucho más fértil que un suelo arenoso (como el de mi huerta actual).

El humus tiene mucha más capacidad aún que la arcilla para intercambiar iones, y también las membranas o envolturas celulares de las bacterias muertas que se encuentran en él. Además, los microorganismos emiten moléculas orgánicas (como las enzimas y coenzimas) que atrapan los iones metálicos -como son varios de los elementos de los que se alimenta la planta- formando enlaces estables con ellos, permitiendo así que estén disponibles y puedan ser captados por las raíces. Esto se denomina quelación o quelatación y al compuesto resultante se le llama quelato. La quelación no solo ocurre en el suelo sino también en nuestro propio organismo y en el de las plantas por ejemplo. La hemoglobina de nuestra sangre (que capta átomos de hierro) y la clorofila de las plantas son agentes quelantes.

Cuando en el suelo se mezclan partículas coloides -de menos de 1 micra- de arcilla y de humus, en presencia de sales de calcio (que tienen carga positiva) se juntan en copos, formando el llamado complejo arcillo-húmico en el que se multiplica la capacidad de intercambio catiónico como si fuera un pegamento que atrae muchos cationes.

En cuanto a los elementos que están presentes habitualmente con carga negativa, como los nitratos, los iones fosfatos, o el azufre, la planta los intercambia por grupos hidroxilos con carga negativa. Estos nutrientes es más fácil que se laven y que escaseen precisamente por quedar libres o sueltos al no adherirse a los centros de intercambio catiónico.

• La rizofagia, un fenómeno descubierto recientemente

Resulta que además de alimentar la planta con azúcares y otros nutrientes a los microorganismos que viven en la rizosfera, esta los absorbe hacia el interior de sus raíces (se ha comprobado que ocurre al menos con bacterias y con algunas especies de levaduras y hongos) a través del meristemo, que es un tejido presente en la raíz y en otras partes de la planta encargado del crecimiento vegetativo, quedando la bacteria o levadura entre la pared celular y la membrana (la capa interior) de las células del meristemo.

Segregando oxígeno reactivo (superóxido), la planta deshace la membrana celular de la bacteria o la levadura e incluso degrada algunas de ellas por completo, absorbiendo así los nutrientes que el microbio ha adquirido del suelo cuando se encontraba fuera de la planta. Además, una vez dentro los microbios segregan óxido nitroso, que al reaccionar con el oxígeno reactivo forma nitratos que alimentan a la planta, de hecho se ha comprobado que en algunos casos hasta un 40% del nitrógeno que asimila la planta lo hace por medio de la rizofagia. También producen fitohormonas que ayudan al desarrollo y a las defensas de la planta.

Estos microorganismos habitan en un principio en la zona de exudados emitidos por la raíz (acuden atraídos por estos azúcares, aminoácidos y otras sustancias de las que se alimentan), concretamente junto al meristemo. Los microbios que sobreviven activan el crecimiento de los pelos radiculares y la creación de pelos nuevos por acción del etileno que emiten, en ese momento la planta expulsa a los microbios al exterior, rehaciendo ellos una vez fuera sus paredes celulares y su forma y aspecto normal. Al expulsarlos la planta también emite algunos azúcares a través de las puntas de los pelos que alimentarán a los microbios.

Convirtiendo el aire y el agua en energía para crecer

• Fotorrespiración, plantas C3, C4 y CAM

La fotosíntesis es una función que realizan cianobacterias (antiguamente llamadas algas verdeazuladas, ellas fueron las responsables de generar los niveles de oxígeno que hay actualmente en la atmósfera, y aún hoy siguen produciendo la mayor parte), algas verdes y plantas verdes.

Consiste en una serie de reacciones químicas que tienen como objetivo captar dióxido de carbono y transformarlo en glucosa (un tipo de carbohidratos) con ayuda de la energía solar. Este proceso es realizado por la enzima rubisco, que en las plantas conforma aproximadamente el 30% de la proteína soluble de una hoja, es de hecho la enzima más abundante en el planeta. En algas y plantas la fotosíntesis se produce en los cloroplastos (unos órganos que hay en el interior de las células), en las plantas son los de las células del mesófilo (el interior de las hojas). Los estomas de hojas y tallos jóvenes son la vía de intercambio de gases; por ellos entra CO2 y sale oxígeno y agua.

En el caso de las plantas, la enzima rubisco a veces utiliza oxígeno en vez de dióxido de carbono, esto suele ocurrir cuando la planta cierra los estomas en condiciones de humedad relativa baja y temperaturas altas para evitar la pérdida de agua por transpiración, ya que es entonces cuando se acumula oxígeno en las hojas y lo hay en mayor cantidad que el CO2 . Las temperaturas altas de todos modos se ha comprobado que son un factor clave en la absorción de oxígeno por parte de la rubisco.

Cuando esto sucede se activa la fotorrespiración, una fase en la que se produce la pérdida de parte del dióxido de carbono fijado durante la fotosíntesis, gastando también energía y sintetizando menos azúcares (aunque no todo es negativo, también reporta algunos beneficios).

Para recuperar parte del carbono perdido, este pasa por una serie de transformaciones producidas en tres tipos de órganos del interior de las células; del cloroplasto pasa al peroxisoma, del peroxisoma a la mitocondria, y vuelta al peroxisoma y de ahí al cloroplasto, donde se incorporará al ciclo normal en el cual se produce la transformación en glucosa (llamado ciclo de Calvin).

En el 85% de las plantas y en la totalidad de los árboles esto funciona así, son las llamadas C3. En algunas otras, en cambio, la fijación de CO2 en presencia de luz y el ciclo de Calvin se realizan en distintas partes de la hoja; la primera fase en el mesófilo y la segunda en células especiales alrededor de las venas. Además, la enzima encargada de fijar el CO2 no es la rubisco sino otra que no tiende a unirse al oxígeno, de esta forma se reduce la fotorrespiración al mínimo. Así es como funcionan las plantas C4 como son el maíz, la caña de azúcar o el sorgo, esta es una adaptación que les permite vegetar mejor en climas cálidos.

En el caso de las plantas CAM (crasas, cactus, piña), la separación de las fases no se produce en el espacio sino en el tiempo. Por la noche abren los estomas para absorber CO_2, difundirlo por la hoja y almacenarlo en las vacuolas de las células. Por el día los estomas permanecen cerrados, aun así la planta es capaz de realizar la fotosíntesis a partir del CO_2 almacenado, que se va liberando de forma controlada. De esta forma la enzima rubisco siempre tiene dióxido de carbono a su disposición.

• Respiración celular: de pájaras y eructos

Una vez tenemos ese producto final que es la glucosa (carbohidratos), el siguiente paso, y este es común tanto a plantas como a algas, bacterias, mohos, levaduras, animales -nosotros incluidos obviamente- y algunos protozoos, es transformarla para poder obtener energía en forma de molécula de ATP (adenosín trifosfato), esto se realiza mediante la llamada respiración celular, y en los seres pluricelulares como plantas, animales y macroalgas ocurre en las mitocondrias.

A diferencia de la fotosíntesis y la fotorrespiración, la respiración celular se produce a través de los estomas de todas las partes de la planta (pues no sólo hay estomas en las hojas y tallos jóvenes sino también en los demás tallos y algunos en las raíces), y se realiza tanto por el día como durante la noche.

En una primera fase se produce una degradación de la glucosa mediante oxidación, la segunda fase puede ser aerobia o anaerobia (en presencia o no de O_2). En la aerobia se descomponen esos carbohidratos junto con oxígeno formando dióxido de carbono (lo que eran en un principio) y monóxido de dihidrógeno (agua), liberando ATP en el proceso; en nuestro caso además se descomponen grasas y proteínas.

La fase anaerobia, salvo en el caso de algunos microorganismos que utilizan sulfato, nitrato, o azufre, entre otros elementos, se denomina fermentación en el caso de la glucosa, que es la que sintetizamos animales y plantas, además de muchos otros organismos.

En ella se transforman igualmente los carbohidratos en otros compuestos o elementos, emitiendo un producto de desecho diferente según el organismo del que se trate; en el caso de las levaduras es el alcohol (como en la cerveza y el vino, y en el pan también, los que hemos utilizado masa madre lo sabemos por el olor), en el caso de las bacterias ácido-lácticas (que también participan en la fermentación del pan y de la leche, como pude experimentar) y en nuestro caso, el producto de desecho es el mismo: ácido láctico. Cuando se realiza una actividad física intensa y prolongada, llega un momento en que no llega suficiente oxígeno a los músculos, se inicia una respiración celular anaerobia y se empieza a producir y acumular ácido láctico, sufriendo la famosa “pájara” de ciclistas y corredores.

Hay arqueas y bacterias que como dije antes realizan este tipo de respiración para sintetizar sulfatos en vez de CO2, produciendo sulfuro de hidrógeno como material de desecho. También hay ciertas arqueas que utilizan CO2 y producen metano como material de desecho, como las que viven en el sistema digestivo de los rumiantes, que han suscitado controversia en los últimos años por estas emisiones de metano que los animales expulsan por la boca.

Una curiosidad para acabar; las mitocondrias presentes en las células puede que fueran en origen organismos unicelulares sin núcleo (procariotas) absorbidos o incorporados por otros procariotas, viviendo en endosimbiosis con su hospedante; se cree que pudieron ser bacterias absorbidas por arqueas. Posteriormente, esos organismos ya convertidos en eucariotas incorporarían procariotas con clorofila (como las cianobacterias), que se convertirían en los futuros cloroplastos de plantas y algas.

• Pigmentos que captan energía

La clorofila es un pigmento presente en todos los seres que realizan la fotosíntesis, en el caso de plantas y algas pluricelulares se encuentra en los cloroplastos de sus células, pero no es el único pigmento que interviene en esta función, también lo hacen en muchos casos carotenoides como el beta-caroteno y las xantófilas, y también las ficobilinas, ficocianinas y ficoeritrinas. Aparte de estos, en la plantas hay otros pigmentos que no intervienen en la fotosíntesis como son las antocianinas, que se encuentran en las vacuolas de las células.

En la fotosíntesis se utiliza la luz solar (que es energía electromagnética), pero no se absorben por igual todas las longitudes de onda del espectro. Cada pigmento absorbe unos determinados tipos de luz, reflejando los que no absorbe, que son los que en realidad vemos.

Por ejemplo, los principales pigmentos presentes en las plantas y algas verdes son los tipos de clorofila A y B, que absorben las longitudes de onda violetas, azules y rojas, por eso la mayoría de plantas se ven verdes. Por algo los agricultores neerlandeses (Países Bajos actualmente es una potencia a nivel europeo y mundial en cuanto a producción agrícola debido a las tecnologías que usan en sus invernaderos) administran a sus plantas luz artificial azul y roja, puesto que allí no andan sobrados de sol y días claros.

Los carotenoides por su parte absorben la luz violeta, la azul y la verdeazulada, por lo que reflejan desde luz amarilla hasta luz roja, pasando por las anaranjadas y pardas u ocres.

Hay diversos tipos de carotenoides como las xantófilas (zeaxantinas, criptoxantinas, luteína, etc), el licopeno, el alfa-caroteno, el beta-caroteno, e incluso carotenoides incoloros como el fitoeno y el fitoflueno, estos pigmentos cumplen también la función de proteger a las plantas del exceso de radiación, y los beta-carotenos, al estar presentes en los cloroplastos, evitan que la clorofila se oxide por un exceso de energía lumínica, disipándola en forma de calor.

Las plantas como hemos visto captan sobre todo longitudes de onda cortas (azules, violetas) que tienen fotones de alta energía, pero también longitudes de onda larga (rojas). Esto es así porque en condiciones de escasez de luz (debajo del dosel arbóreo en una selva, por ejemplo) las plantas pueden captar la luz roja e incluso la roja lejana gracias a los fitocromos, que son unas proteínas que actúan como fotorreceptoras, desencadenando en función de la cantidad de luz que reciban unas reacciones u otras en la planta; si está a la sombra hace que la planta se estire en busca de luz, y si recibe la suficiente induce la germinación o la floración.

En cuanto a la clorofila, se han identificado unos cuantos tipos; la A se encuentra en todas las plantas y algas y en las cianobacterias, la B se encuentra en plantas y algas verdes, la C en algas pardas, la D en algas rojas y en ciertas bacterias fotosintéticas que sintetizan la luz infrarroja cercana, además se ha descubierto recientemente que en realidad las algas rojas no la producen sino que se trata de bacterias que viven fijadas a estas algas las que la contienen.

Otro tipo de bacterias son capaces de sintetizar luz infrarroja más lejana empleando clorofila F, y recientemente se han descubierto otras bacterias (GSB1 las han llamado) a 2.500 metros de profundidad en el Pacífico que aprovechan la débil radiación que emanan las fumarolas hidrotermales; estas bacterias son del tipo de las “verdes del azufre” y utilizan la llamada bacterioclorofila, con la que realizan una fotosíntesis en la que no se produce oxígeno.

La formación de suelo: de la roca madre al humus

La roca madre, además de sufrir meteorización física -fragmentación y desintegración- debido a la erosión por viento y por agua, a los cambios bruscos de temperaturas, a la gelifracción (el agua que se mete en las grietas, al congelarse aumenta de volumen y fractura la roca), incluso a la acción de las raíces capaces de fracturarlas, y de disolverse en el caso de aquellas que se componen de sales solubles, también sufre meteorización química; su composición se altera por mediación del agua (con ayuda del ácido carbónico en que se transforma el CO2 disuelto y de ácidos orgánicos que también contiene), el oxígeno del aire interviene también en estos procesos.

Los hidrones y grupos hidroxilos del agua se intercambian en reacciones químicas con los cationes y aniones de los minerales, llegando en ocasiones a destruir estos por completo, esto es lo que se llama hidrólisis.

El ácido carbónico del agua también reacciona con las rocas calcáreas (debido a su alcalinidad) disolviéndolas.

Los microorganismos por su parte degradan los minerales para extraer nutrientes como mencioné anteriormente, alterándolos y transformándolos en consecuencia.

Otro proceso que se da es la oxidación/reducción, que consiste en la pérdida o ganancia de electrones de los materiales del suelo (de los iones que los constituyen) en contacto con el oxígeno del aire presente en dicho suelo. Los minerales habitualmente se han formado en condiciones de ausencia o escasez de oxígeno, por lo que sus iones se presentan en forma reducida, y al entrar en contacto con oxígeno pierden electrones (se oxidan), esto no ocurre si se encuentran en un medio permanentemente saturado de agua, en el cual la tendencia es a la reducción.

Este es el fenómeno responsable también de la corrosión de los metales, del oscurecimiento de las manzanas al cortarlas, de la combustión, del blanqueo producido por la lejía, de la acción de los conservantes alimentarios, o de funciones y procesos que ocurren en nuestro organismo como la respiración celular, el metabolismo energético, la producción de radicales libres causantes del envejecimiento, y enfermedades de diversa índole.

A diferencia de arenas y limos, que se forman solamente por erosión y meteorización física de las rocas, las arcillas se originan en un proceso llamado fersialitización, a partir de agregados de silicatos compuestos de hierro, sílice y aluminio.

En los trópicos, por las características de su clima, son frecuentes los suelos ferralíticos, en los que el mineral es intensamente alterado por la hidrólisis (que expliqué antes) debido a las fuertes lluvias y a las altas temperaturas propias de esas latitudes. Como consecuencia de esta alteración, ciertos elementos metales se lavan mientras que se produce un enriquecimiento de otros compuestos (como el óxido y el hidróxido de hierro entre otros, que le da ese color rojo característico a este tipo de suelos).

Como resultado de todos estos procesos que he comentado, la composición final del suelo cambia con respecto a la de la roca madre a partir de la cual se forma.

Por su parte, los restos vegetales y animales que se van acumulando en superficie se descomponen y sintetizan en nuevos compuestos, convirtiéndose en humus. Ese humus termina por mineralizarse, destruyéndose y transformándose en elementos inorgánicos simples como amoniaco o dióxido de carbono. Una parte se degrada rápidamente aportando estos nutrientes al suelo, pero otra -las huminas- es más estable y resistente a la degradación biológica, constituyendo una reserva que permanece en el suelo durante mucho tiempo.

El humus contiene fósforo y otros elementos interesantes para las plantas como son los ácidos húmicos y fúlvicos. Los primeros son unos compuestos sólidos con una estructura ramificada y muchas cavidades, lo que le permite retener mucha agua, mientras que los segundos son semisólidos y de menor tamaño, lo que los hace fácilmente absorbibles por las plantas -incluso las semillas los absorben-. Además los fúlvicos son muy reactivos, por lo que tienen aún mayor capacidad de intercambio catiónico.

Estas sustancias húmicas actúan como tampón o buffer llevando el pH a niveles neutros, favorecen el crecimiento de las plantas y de las raíces, intervienen en la síntesis de proteínas y en las fitohormonas, mejoran la permeabilidad de las membranas celulares, incrementan la producción de clorofila -lo cual influye en la fotosíntesis-, aumentan la disponibilidad de oligoelementos en el suelo gracias a la quelación o quelatación, y mejoran la estructura del suelo.

• Influencia de la planta en el medio y del medio en la planta

Los árboles y plantas, además de ayudarse a veces compiten entre sí. Ciertas plantas emiten compuestos bioquímicos que afectan al crecimiento, a la supervivencia y a la reproducción de otras plantas, lo hacen tanto a través de los exudados de las raíces como por las hojas caídas y también por volatilización, es lo que se conoce como alelopatía. Además de esto, las plantas son capaces de modificar un poco las condiciones del suelo en su beneficio o en detrimento de otras plantas que pudieran salir a su alrededor.

Los hongos, debido a las enzimas (que en realidad son ácidos orgánicos) que utilizan para descomponer la materia orgánica, van bajando el pH del suelo, mientras que el biofilm que segregan las bacterias lo sube ligeramente, compensando así la acidificación producida por los hongos. Por tanto, un suelo en el que haya muchos hongos y pocas bacterias tendrá un pH ácido, es el tipo de suelo idóneo para árboles y plantas leñosas, mientras que un suelo más equilibrado y con más bacterias es el propicio para una pradera o para las hortalizas (para plantas anuales en general).

Las raíces de las plantas normalmente atraen a los hongos debido a las sustancias que estas exudan, sobre todo azúcares producidos en la fotosíntesis (aunque también exudan ácidos orgánicos, aminoácidos, enzimas, nucleótidos, vitaminas, etc). A cambio de estos azúcares los hongos solubilizan y fijan nutrientes para ellas, como ya vimos. No obstante hay plantas que son capaces de atraer un tipo concreto de bacterias o de hongos con sus exudados para alterar ligeramente el pH del suelo a su alrededor, evitando así la presencia de otras plantas que no toleren ese pH.

Nosotros en nuestra huerta también podemos modificar estas condiciones por ejemplo aplicando más materiales secos o leñosos ricos en celulosa, hemicelulosa y lignina (madera) bajo los frutales y cultivos leñosos, ya que dichos materiales atraen más a hongos que a bacterias, o utilizando hasta cierto punto más materiales verdes o frescos, más estiércoles o harinas de origen animal en el compost que echemos a las hortalizas para propiciar que haya más bacterias, siempre guardando ciertas proporciones, como ya comenté al hablar del compost.

También hay que tener en cuenta que en la descomposición de materia seca rica en celulosa o lignina se utiliza nitrógeno presente en el suelo, por lo que estos procesos siempre tienen que realizarse en superficie, nunca hay que enterrar o mezclar con la tierra material seco o leñoso sin descomponer ya que le robaría a las plantas el nitrógeno que estas necesitan captar del suelo.

Una época de descubrimientos pero también el comienzo del desastre: siglo XIX y primera mitad del XX

El del siglo XIX y los primeros decenios del XX fue un periodo en el que se dieron numerosos avances en distintos campos como la ciencia y la ingeniería. En cuestión de botánica, biología y bioquímica hubo importantes descubrimientos. He querido destacar en este capítulo algunos de los que me parecen más reseñables por su vinculación con la agricultura y sus aplicaciones en este campo. También he dedicado el capítulo a ciertos autores que, ya en esas épocas, advertían que era necesario cambiar el manejo agrícola existente entonces por otros más sostenibles.

Aunque ya desde siglos atrás hubo quien comenzó a investigar y experimentar en campo sobre estas materias, fue en la segunda mitad el siglo XVIII cuando realmente algunos científicos realizaron hallazgos importantes empleando métodos cuantitativos, es decir, realizando mediciones y registrando datos. Hallazgos que allanarían el camino a otros investigadores posteriormente para poder ampliar nuestros conocimientos.

Dos de ellos fueron el neerlandés Jan Ingenhousz (1730-1799) y el suizo Jean Senebier (1742-1809), quienes descubrieron que en presencia de luz las plantas consumen dióxido de carbono y liberan oxígeno, y que sólo liberan oxígeno en presencia de dióxido de carbono (de hecho las plantas mueren en ausencia de este gas).

Siguiendo la estela de sus trabajos, el químico y naturalista suizo Nicolas-Théodore de Saussure (1767-1845) profundizó en el estudio de la fotosíntesis y analizó la presencia de compuestos de carbono en los tejidos vegetales. Estudió también reacciones bioquímicas que ocurren en las células de las plantas. Comprobó que estas toman todo el carbono del aire y que el existente en el suelo lo producen las propias plantas, también determinó que emiten dióxido de carbono, por lo que supuso que respiraban igual que lo hacen los animales. Afirmó, además, que las plantas dependen de la absorción de nitrógeno del suelo.

Reflejó varios de estos hallazgos en su obra de 1804 Recherches Chimiques sur la Végétation.

Ya en pleno siglo XIX, la experimentación en campo del francés Jean-Baptiste Boussingault (1802-1887) le llevó a identificar varios de los nutrientes esenciales para las plantas y a descubrir la asimilación de nitrógeno atmosférico. Analizando la composición de las semillas y plantas antes y después de la germinación y durante su desarrollo en un medio estéril y sin materia orgánica, concluyó que algunas como el trigo captan carbono, hidrógeno y oxígeno del aire y el agua, mientras que otras como el trébol -una leguminosa- habían ganado además en nitrógeno sin habérselo proporcionado, y que por tanto también lo debían de haber obtenido del aire.

Se dio cuenta asimismo de que el incremento en peso del hidrógeno y el oxígeno de las plantas concordaba con la proporción en que aparecen estos dos elementos en el agua.

Planteó que las plantas podrían tomar también amoniaco producido durante la descomposición de la materia orgánica, y como los animales toman el nitrógeno de las plantas que ingieren, ambos -animales y plantas- al morir y descomponerse volverían a liberar ese nitrógeno en forma de amoniaco, completándose así el ciclo.

Por otra parte, probó añadiendo y combinando diversas sales inorgánicas en un medio estéril. Algunas como el nitrato de sodio y el de potasio, obtenidos del mineral salitre, ya se sabía que favorecían el desarrollo de las plantas, y para mediados de siglo su uso como fertilizante ya era frecuente. Descubrió así que la mezcla de un nitrato y un fosfato era la que daba mejores resultados.

El químico alemán Justus von Liebig (1803-1873) introdujo el concepto de fertilizantes minerales y desarrolló varios -sulfato de amonio, nitrato de amonio y sulfato de potasio-.También determinó la ley del mínimo, que indica que si uno de los factores limitantes (por ejemplo, uno de los nutrientes esenciales) para el crecimiento de las plantas escasea, dicho crecimiento se verá restringido aunque los demás factores o nutrientes estén disponibles en abundancia.

Liebig afirmaba que se podían producir plantas a partir de dióxido de carbono, agua, amoniaco y algunos minerales, elementos estos liberados al descomponerse la materia orgánica, pero que en ausencia de esta varios de ellos se podían sustituir por fertilizantes artificiales. Afirmaba, sin embargo, que el nitrógeno que captan las plantas procede del aire y es arrastrado por la lluvia, así como que, generalmente, ese aporte es suficiente.

Por su parte, el también alemán Julius von Sachs (1832-1897) descubrió que la clorofila no se encontraba en todos los tejidos, sino sólo en unos órganos especiales dentro de las células -los cloroplastos-.También probó que el almidón presente en esos órganos resultaba de la absorción de dióxido de carbono por la planta, y por tanto era el primer producto visible de la fotosíntesis. Estudió la influencia en el crecimiento vegetal de agentes externos como la gravedad y la propia luz, así como la forma en que el agua es absorbida por los pelos radiculares y transportada dentro de la planta.

Entre sus numerosas publicaciones se puede destacar Lehrbuch der Botanik (1868), que constituye un compendio de los conocimientos botánicos existentes hasta ese momento. También cabe mencionar Handbuch der Experimental-Physiologie der Pflanzen, donde muestra métodos de medición e investigación de los procesos fisiológicos de las plantas (nutrición, metabolismo, reproducción, etc.), así como soluciones de nutrientes formuladas para el crecimiento vegetal, análisis de las estructuras celulares al microscopio y cómo medir las respuestas de las plantas ante factores ambientales.

Otro alemán, Wilhelm Knop (1817-1891), estudió igualmente algunos aspectos de la fotosíntesis como la función del hierro y la dependencia de la temperatura, además ideó una solución nutritiva propia que a día de hoy sigue sirviendo como referencia para la fertilización en hidroponía (método que utiliza el agua como medio de cultivo en vez del suelo.

El ucraniano Sergei Vinogradski (1856-1953) descubrió el proceso de nitrificación e identificó varias de las bacterias que lo realizan -Nitrosomonas y Nitrobacter- , así como la fijadora de nitrógeno Clostridium pasteurianum, las bacterias sulforreductoras y las también fijadoras de nitrógeno que viven en simbiosis con las leguminosas -los rizobios-. Esto último corroboró la propuesta de Hermann Hellriegel y Hermann Wilfarth de que los nódulos de las leguminosas eran producidos por bacterias del suelo que fijaban nitrógeno atmosférico.

El estadounidense Dennis Robert Hoagland (1884-1949) se dedicó a analizar el suelo y su relación con las plantas. Estudió la absorción de iones y su efecto en la composición de la savia celular (la que se almacena en las vacuolas), los efectos de la concentración de hidrones en el suelo -el pH- en el crecimiento de las plantas y en la carga eléctrica de la arcilla, la absorción y acumulación de electrolitos -elementos o sales que se descomponen en iones con carga eléctrica en un fluido- en las células vegetales y sus movimientos dentro de la planta, las deficiencias de nutrientes, el cultivo hidropónico, y posibles problemas con fertilizantes.

Descubrió que la absorción de iones no era un simple acto mecánico debido a la permeabilidad, sino un proceso metabólico que requiere gasto de energía, lo cual comprobó en algas del género Nitella y en cebada. Sus estudios en cuanto a carencias de ciertos oligoelementos en los cultivos demostraron que diversas enfermedades son en realidad la manifestación de dichas deficiencias y de la falta de aporte de elementos como el zinc en la fertilización. Ideó, además, una solución nutritiva para hidroponía compuesta por macro y micronutrientes junto con Daniel Arnon, quien, por cierto, descubrió la fotofosforilación -uno de los procesos que ocurren en la fotosíntesis- y también que el molibdeno es necesario para plantas y algas.

Otro personaje digno de mención fue el estadounidense Cyril George Hopkins (1866-1919).Este químico agrícola quería acercar la ciencia a los agricultores y conseguir un método de cultivo que consiguiera mantener la fertilidad o incrementarla año tras año en vez de generar suelos agotados, secos y prácticamente inservibles -los llamados worn out soils-, como ya había ocurrido con muchas tierras cultivadas en EEUU.

Él sostenía que los nutrientes extraídos del suelo al cosechar había que reponerlos, y que no era muy inteligente tratar de hacerlo comprando caros fertilizantes solubles pudiendo incorporar los rastrojos al suelo (los del cereal contienen bastante potasio, por ejemplo).Hablaba de los beneficios de sembrar leguminosas a modo de catch crop (cultivo que sirve para evitar pérdidas de nitrógeno una vez cosechado el cultivo principal) y como abono verde enterrándolas también una vez cortadas. Hablaba asimismo de las bondades de estercolar los campos, pero manejando el estiércol apropiadamente según él, ya que no se debía dejar a la intemperie durante el verano, pues merma mucho y pierde gran parte de su valor como fertilizante.Con todas estas prácticas se incorpora materia orgánica que, como él ya decía, mejora las condiciones físicas del suelo.

Hopkins realizó pruebas durante la primera década del siglo XX sembrando cereales y pasto en distintos tipos de suelo y con distintos manejos, enmiendas y fertilizantes, comparando los resultados que daba cada uno en la cosecha en distintos años.

En sus experimentos empleando harina de roca fosfórica descubrió que las bacterias nitrificantes del género Nitrosomonas, encargadas de oxidar el amonio a nitrito, al producir ácido nitroso en este proceso, este ácido reacciona con la roca solubilizando el fósforo y el calcio (presentes en ella en formas no solubles) al convertirlos en ácido fosfórico y nitrito de calcio. Se dio cuenta sin embargo de que esto no pasaba cuando las Nitrobacter oxidan el nitrito a nitrato. Aun así, la cantidad de fósforo y calcio solubilizados durante la nitrificación, calculando la cantidad de nitrógeno disponible que requiere un cereal, es muchas veces mayor de la que necesita la planta, como pudo comprobar.

Vio además que esta misma capacidad de solubilizar el fósforo la tiene el dióxido de carbono emitido por bacterias -en este caso lo probó con Azotobacter-, al fijarse dicho gas en el agua contenida en el suelo convirtiéndose en ácido carbónico. Esta propiedad del dióxido de carbono ya la había advertido Knop en 1868, pero Hopkins observó que cuando el gas es generado por bacterias en el suelo se solubiliza una mayor cantidad de fósforo.

Hopkins decía que los elementos más importantes para las plantas son el carbono, el hidrógeno, el oxígeno, el nitrógeno, el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio, el hierro y el azufre. Señalaba que los tres primeros constituyen más del 90% de una planta y se encuentran en el aire y el agua, por lo que son inagotables. Concluía además que a veces el problema no es la falta o escasez de un elemento, sino que, aun habiéndolo en abundancia, no se encuentra en formas solubles. En esos casos la solución -decía- no es añadir más al suelo, sino cambiar el manejo.

Publicó varios libros, entre ellos Soil Fertility and Permanent Agriculture, editado en 1910, además de algunos artículos en los que mostraba los descubrimientos realizados en la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Illinois, donde trabajaba.

Al igual que Hopkins, en la primera mitad del siglo XX algunos otros autores ya alertaban de los problemas que la agricultura voraz y poco sostenible que se venía practicando desde el siglo anterior estaba provocando, como la erosión debida a la acción del viento y del agua, que además de la pérdida de suelo fértil y de la incapacidad para retener el agua de lluvia, podía agravar desastres como las riadas.

Uno de estos pioneros fue el botánico y micólogo inglés sir Albert Howard (1873-1947), alguien que en los años 20, 30 y 40 ya decía que las plagas y hongos patógenos no eran el problema, sino que indican que la planta no está bien nutrida ni en buenas condiciones (algo que yo también he podido comprobar en mis plantas), o bien que la variedad o el cultivo en cuestión no es el adecuado para ese lugar. Observó igualmente que con los animales ocurría lo mismo: el ganado que está bien alimentado y en buenas condiciones no contrae enfermedades infecciosas aunque esté en contacto con animales enfermos. Concluía que el estado natural, tanto de una planta como de un animal, es disponer de células sanas y nutridas, lo que les confiere resistencia a las enfermedades. En cierto modo se podría llamar inmunidad, decía.

Hablaba también sobre la importancia de los cultivos de cobertura y de la hierba para evitar la erosión, de los abonos verdes, del humus, de la necesidad de aportar continuamente materia orgánica, de cómo los microorganismos del suelo liberan nutrientes para las plantas, de las condiciones adecuadas para hacer compost correctamente (como la proporción carbono/nitrógeno y el grado de humedad óptimo en cada fase) y de aprovechar todos los residuos vegetales y animales disponibles. Valoraba además la incorporación del ganado en la agricultura, señalaba la importancia de cultivar diversidad de plantas en vez de los omnipresentes monocultivos, hablaba sobre los efectos negativos de la suela de labor y del sobrepastoreo y la carga ganadera excesiva, y de lo innecesarios que son los fertilizantes cuando el suelo tiene suficiente vida microbiana y materia orgánica. ¡Decía que el compost es esencial para la actividad de las micorrizas que se asocian con las plantas e intercambian sustancias con ellas!

Entre 1905 y 1931 trabajó en La India como investigador agrónomo, primero como asesor para varios estados indios (que formaban parte de la entonces India británica) y después como director del Institute of Plant Industry en Indore. Allí realizó muchos de estos descubrimientos aplicando los conocimientos científicos de la época, los métodos tradicionales de los campesinos indios y la observación y análisis en campo.

Otros dos autores que advirtieron sobre la erosión que se produce en terrenos arados y sin cobertura por efecto del viento y las fuertes lluvias, quedando en algunos casos casi impracticables para la agricultura con el paso del tiempo, fueron los estadounidenses Hugh Hammond Bennet y Paul B.Sears, quienes pudieron comprobar la certeza de sus razonamientos durante los episodios de sequía y grandes tormentas de arena que asolaron las grandes llanuras de su país en los años 30, llegando hasta la costa Este.

Bennett (1881-1960) comenzó trabajando como perito de suelos para el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) tras graduarse en la universidad en 1903.No tardó mucho en darse cuenta de que la erosión era un problema grave. En los años 20 escribió y publicó diversos artículos sobre el tema, de los cuales el más conocido es Soil Erosion: A National Menace, que el Departamento de Agricultura publicó en 1928. En 1933 fue nombrado director del recién creado Soil Erosion Service, que dos años después fue sustituido por el Soil Conservation Service, del que también fue director.

Bennett dejó algunas frases o máximas en sus artículos para la posteridad, como “la tierra debe ser nutrida, no expoliada y despilfarrada”, “el suelo productivo es la vida, y el suelo productivo está desapareciendo con cada año que pasa” o “¿cuál sería el sentir de esta nación si una nación extranjera irrumpiera en los Estados Unidos y destruyera noventa mil acres de tierra, como se ha permitido que la erosión haga en un solo condado?”.

Por su parte, el botánico, conservacionista y educador Paul Bigelow Sears (1891-1990) fue un pionero del ecologismo. Trabajó como botánico para el Departamento de Biología de Oklahoma y a mediados de los años 30 presidió un comité asesor legislativo creado para estudiar los efectos que tuvieron las sequías y las tormentas de arena ocurridas en aquellos años en el estado de Oklahoma, con el objetivo de redactar una ley sobre conservación de suelos. Propuso medidas como la siembra de cultivos de cobertura y de hierbas nativas en los campos de trigo.

En sus libros analiza la relación del hombre con la naturaleza a lo largo de la historia y expone los peligros de la contaminación. Su obra más conocida es Deserts on the March, publicada en 1935. Doce años después, en 1947, publicó una segunda edición en la que incluyó un capítulo que tituló Deserts in Retreat, donde contó que desde 1935 se había estado trabajando bajo la supervisión técnica del Soil Conservation Service para instaurar manejos adecuados en al menos sesenta millones de acres en distintos estados, consiguiendo frenar la erosión y aumentar su productividad en al menos un 20%.

En el libro Sears explica cómo el hombre a lo largo de la historia no ha sido capaz de mantener la fertilidad de las tierras y las ha tenido que abandonar en muchas ocasiones debido a que perdían su fertilidad inicial, y que las regiones del mundo donde sí se han mantenido productivas es debido al continuo aporte de sedimentos que reciben de grandes ríos que se los arrancan a las montañas. Por ejemplo, el río amarillo y el Yangtse nacen en las estribaciones del Himalaya y el Nilo en las áreas montañosas del Este de África; los valles de los tres ríos han sido siempre algunas de las zonas más productivas del mundo.

Cita algunos casos donde la mano del hombre provocó que los desiertos se extendieran, como la meseta de loess en el interior de China, donde la deforestación, el cultivo y el pastoreo en una zona con un clima de por sí poco favorable y con un tipo de suelo proclive a la erosión tuvieron estas consecuencias. Por otra parte alaba el manejo tradicional y la productividad de otras regiones chinas, aunque en su opinión les faltaba aplicar la herramienta de los conocimientos y avances científicos.

En cuanto a su país, Sears explica lo perjudicial que fue dejar desde un principio (en la época de los pioneros que se asentaban en el medio Oeste) en manos privadas y a menudo en poder de la banca las tierras repartidas, que se dividían en pequeños lotes para cada familia. Estas a medida que las cultivaban se iban empobreciendo y agotando. Apenas se dejaban praderas naturales ni bosques que sirvieran como reservorio de suelo y como barrera frente a la erosión. La banca se lucraba comprando esos lotes empobrecidos y vendiéndoselos a nuevos colonos que llegaban.

Esta mala gestión causó una degradación de la vegetación natural, dando como resultado que en las antaño fértiles praderas la flora que ahora sale no es la clímax que le correspondería, sino una propia de suelos más pobres y climas más áridos.

Otra consecuencia de la erosión es que los ríos se llenan de limos dificultando la existencia de peces y otros organismos como las algas, y también que las riadas son cada vez más graves. Sears afirma que las causas de las riadas hay que buscarlas aguas arriba en las cuencas de los ríos y más concretamente en cada rancho, en cada sembrado, o en cada bosque que se tala, ya que son las raíces de árboles y plantas las que sujetan el humus que absorbe el agua de lluvia y evita la excesiva escorrentía, y su parte aérea la que evita el impacto directo del agua en el suelo.

De esta forma, decía, va desapareciendo el horizonte A y queda en superficie el horizonte B, incapaz de retener el agua de lluvia, y en zonas con pendiente se forman barrancos que se van comiendo cada vez más tierra, convirtiéndose en las llamadas badlands.

Sears observa lo resilientes que son ante las adversidades del clima las comunidades de plantas de las praderas que albergan tantas especies distintas, y las compara con los monocultivos, donde si esa única especie existente se ve afectada, todo se pierde y supone la ruina para el agricultor. Según él, los agricultores tienden a pensar que lo normal es que el clima siempre sea benigno, cuando la realidad es que siempre hay fluctuaciones y siempre las va a haber, por lo que deberíamos adaptarnos a ellas.

Explica, por otra parte, que las plagas se dan cuando existe un deterioro o un desequilibrio provocado por el hombre. Por ejemplo, decía que los ganaderos se quejaban de que las liebres esteparias destruyen el pasto o lo deterioran, pero fue precisamente en tierras que habían sufrido sobrepastoreo -y no en otras zonas- donde se había constatado que el número de liebres era significativamente alto. Otro ejemplo que pone Sears es el olmo, un árbol que en su hábitat natural crece a la sombra de otras especies, y sin embargo se planta en zonas expuestas y soleadas para dar sombra. Es ahí donde a los olmos les ataca el barreno -afirmaba-, que llega a hacerles mucho daño. Este insecto, en cambio, no ataca a los olmos nativos que se encuentran en los bosques porque no suele vivir en lugares sombríos. Sears pone también como ejemplo las plagas de langostas que a veces han asolado diversas áreas del país.

Concluye Sears que el territorio necesita ser gestionado adecuadamente y es el gobierno de cada país quien se tiene que encargar de ello. Los agricultores necesitan al estado del mismo modo que el estado necesita a los agricultores.

Edward H.Faulkner (1886-1964) fue un agrónomo estadounidense que trabajó como agente asesorando a agricultores de las cuencas altas de Ohio y Erie. Tras presenciar cómo se estaban agotando y destruyendo los suelos, realizó experimentos y observaciones que le llevaron a cuestionar la costumbre de arar y el uso del arado de vertedera, que según él eran la causa de muchos de los problemas que se daban en la agricultura. En 1943 expuso estas ideas, argumentos y algunas experiencias propias en su primera publicación, Plowman’s Folly. En este libro -que no tiene desperdicio- comenta que en realidad el acto de arar, para ser una costumbre tan extendida, nunca se ha respaldado con razones científicas que indiquen su conveniencia.

En vez del arado de vertedera, Faulkner era partidario de la grada o rastra de discos, que facilitaba la incorporación del abono verde y los rastrojos a las capas superficiales del suelo sin voltear este ni enterrar esos restos a mucha profundidad, donde causan más perjuicio que beneficio. Además, afirmaba que arar la tierra y enterrar la materia orgánica interrumpe la capilaridad, la subida de humedad desde las capas más bajas, al desaparecer esa continuidad o ese contacto entre partículas y entre capas del suelo y existir una capa de materia orgánica que absorbe esa humedad y no permite que suba. En cambio, según Faulkner si ese material se entremezcla con la parte superficial permite retener el agua de lluvia ahí donde más raíces hay, un agua de lluvia que a la vez por el ácido carbónico que contiene va disolviendo los minerales de la tierra, de los cuales se nutren las plantas. La materia orgánica -decía- al descomponerse también interviene en este proceso, al producirse anhídrido carbónico que en contacto con el agua se convierte en ácido carbónico (lo que había comprobado Hopkins).

Afirmaba también que el uso de fertilizantes era innecesario pues, por ejemplo, de proporcionar nitrógeno ya se encargan las bacterias, tanto las que habitan en los nódulos de las raíces de las leguminosas obteniendo carbohidratos de ellas a cambio del nitrógeno atmosférico que fijan, como las saprófitas, que no requieren de huésped vegetal, algo que ya se sabía desde 1901 y que se había comprobado en laboratorios. Sin embargo esto no se tenía en cuenta en el campo, ya que si se voltea el terreno estas bacterias quedan enterradas en el fondo y no disponen de nitrógeno atmosférico que transformar o fijar.

En cuanto a las llamadas malas hierbas, decía que al arar se entierran muchas semillas de estas hierbas (la mayoría anuales), semillas que al arar al año siguiente o a los dos años pueden sacarse a la zona superficial y por tanto favorecer su germinación, de forma que por más que el agricultor trate de eliminarlas cada año nunca acabará con el problema.

Faulkner opinaba que en realidad el ser humano no es capaz de hacer gran cosa para ayudar a que una planta silvestre crezca en su ambiente natural, y que aunque nos creamos los señores de la Tierra y pensemos que podemos influir, en realidad cuando cultivamos en un ambiente artificial (como normalmente hacemos) lo mejor que podemos hacer es tratar de imitar a la naturaleza lo máximo posible. Si arando mejorásemos las condiciones para el crecimiento de las plantas, decía, entonces la hierba que sale en terreno cultivado crecería más y mejor que la que sale en los espacios baldíos adyacentes, cuando es justo al revés.

Estas ideas innovadoras, aunque a la larga se han materializado en una sustitución generalizada de la vertedera, en su día no tuvieron mucha aceptación y sí críticas. En 1946 el agricultor Walter Thomas Jack publicó The Furrow and Us como réplica a Plowman’s Folly. Faulkner, un año después, respondió a las críticas con A Second Look.

Franklin Hiram King (1848-1911) fue profesor de agrofísica en la universidad de Wisconsin, donde investigó y se especializó en el estudio del suelo, su fertilidad, la circulación del agua dentro de él, la capacidad de retención de humedad, los requerimientos de agua de las plantas, la aireación y la acción de los arados. Tras dejar la universidad tuvo el cargo de jefe de la División de Gestión del Suelo dentro de la Agencia de Suelos del USDA, donde sus hallazgos y conclusiones empezaron a socavar las firmes convicciones de Milton Whitney -el director de la agencia- en materia de química del suelo y su relación con el crecimiento de las plantas. Ante la insistencia de Whitney, King tuvo que dejar su cargo volviendo a la universidad, donde dedicó los últimos siete años de su vida a compendiar los descubrimientos más recientes y ampliar sus investigaciones en agrofísica.

Publicó siete libros, de los cuales el más conocido es Farmers of forty centuries: or permanent agriculture in China, Korea and Japan. En él describe las observaciones realizadas durante su viaje de nueve meses en 1909 por estos tres países, explicando en detalle el manejo que hacían en esa época los campesinos en sus tierras, donde apenas sí habían llegado los fertilizantes de síntesis a algunas zonas (empleados en occidente desde hacía décadas) y en general se practicaba una agricultura tradicional. Un manejo basado en el aporte continuo de materia orgánica donde se aprovechaba todo lo que había disponible, empezando por los excrementos humanos, que se recogían de las casas cada día (incluso salía una flotilla de Shanghái cada mañana con el preciado cargamento hacia áreas rurales). Otra fuente de abono era la hierba segada de las colinas cercanas a los pueblos, donde la gente acudía con la hoz y la banasta para cosecharla hasta tres veces al año (estas cosechas estaban limitadas mediante unas normas con el fin de no agotar ese recurso). Parte de esa hierba se utilizaba para abonar los arrozales y el resto se echaba en el compost con el que luego se abonarían los cultivos de secano (trigo, cebada y mijo).

También aprovechaban las cenizas por su contenido en potasio, así como los estiércoles animales y el barro que recogían de canales y aljibes (los limos y arcillas intervienen en la fertilidad de la tierra como ya hemos visto). Este barro lo utilizaban para rellenar terrenos bajos y pantanosos -pudiendo así sembrarlos- y como enmienda, bien echándolo directamente en los cultivos o mezclándolo con estiércol y restos vegetales a modo de compost. En la mezcla del compost también añadían trébol cortado -leguminosa que aporta nitrógeno- que previamente sembraban para tal fin. Otra costumbre generalizada era cortar y dejar las matas de judía en el suelo como abono verde.

Estos campesinos hacendosos tenían por costumbre acolchar los cultivos con paja de arroz o de otros cereales, y en las colinas y lugares con pendiente donde sembraban hacían surcos profundos bordeados de caballones donde se retenía el agua de lluvia evitando la escorrentía. Gracias a estos manejos apenas se perdía agua ni suelo fértil por erosión o por lluvias torrenciales. En zonas áridas y arenosas como las del Norte de China, plantaban barreras de árboles para impedir el avance de las dunas.

Se practicaba la intersiembra; es decir, dejaban pasillos amplios entre líneas y mientras el cereal maduraba, se preparaban, abonaban y sembraban los pasillos, combinando por ejemplo soja con cebada. De hecho se aprovechaba cada trozo de terreno para sembrar y solían hacer siembras o plantaciones muy densas.

Casi todas las tareas las realizaban a mano, acarreando también ellos mismos los materiales sobre los hombros con una caña de bambú, y trabajaban incansablemente todos los días aunque hiciera mal tiempo. Este tipo de agricultura podía mantener a muchos millones de personas pero también requería trabajo y dedicación.

Todas estas prácticas contrastaban con la mentalidad capitalista y derrochadora imperante ya por entonces entre los estadounidenses, según la cual para que algo funcione hay que invertir dinero -hay que comprar insumos, en este caso-, y es que a pesar de contar con estos insumos, las cosechas que se obtenían en Estados Unidos eran mucho menores -contando con las diferencias climáticas de ambas regiones, que obviamente influyen- que las que lograban estos humildes agricultores de oriente según pudo comprobar King.

Fertilizantes de síntesis: reemplazando la labor de los microbios

Las sales solubles vinieron a reemplazar el trabajo de los microorganismos: ahora en vez de fijar, transformar y solubilizar los elementos presentes en el aire y el suelo que de forma gratuita se encuentran a disposición de la planta, se le administra una cantidad ingente de sales solubles, de las cuales se acaba perdiendo un alto porcentaje. Además, cuando se acumulan en exceso provocan toxicidad, quemando las plantas, frenando su crecimiento y bloqueando otros nutrientes.

En condiciones naturales, las plantas captan lo que necesitan en cada momento en la cantidad en la que lo necesitan, y lo que no son capaces de captar, las micorrizas se lo traspasan también en la medida en que lo necesitan.

La fertilización más habitual suele basarse sólo en tres elementos (N, P y K) que se echan en muchos casos sistemáticamente, sin determinar si hay deficiencias realmente o en qué medida se necesitan, y olvidándose de todos los demás nutrientes.

Se ha comprobado en laboratorio con algunos cultivos que un exceso de fertilizantes disminuye la actividad biológica del suelo y que la solubilización de algunos nutrientes se reduce, especialmente el fósforo y el hierro.

Ese exceso además se acaba traduciendo en pérdidas por lixiviación que provocan la contaminación de acuíferos y de masas de agua superficiales. En ellas comienzan a proliferar las microalgas favorecidas por estos nutrientes, estas microalgas impiden el paso de la luz hasta el fondo, por lo que los organismos fotosintéticos que hay por debajo mueren al no poder realizar la fotosíntesis. Esto supone por un lado que dejan de producir oxígeno, y por otro que al morir incrementan la materia orgánica presente en el agua y esa materia es descompuesta por microorganismos que consumen oxígeno en el proceso, agotándose este rápidamente. La consecuencia última es la muerte de fauna y organismos aerobios y la proliferación de algunas algas tóxicas.

Este proceso llamado eutrofización, aunque se produce también en ocasiones de forma natural, supone un grave problema, lo hemos visto repetidas veces en el mar Menor.

En la elaboración de los fertilizantes no solo se emiten gases contaminantes como el óxido nitroso, el amoniaco, el metano o el dióxido de carbono (gases que se emiten también en otras actividades y procesos y de hecho también de manera natural, como en la nitrificación y desnitrificación que realizan las bacterias y arqueas), sino que en algunos casos se acumulan cantidades ingentes de residuos.

Un ejemplo de esto son los fosfoyesos, que es el residuo que queda al disolver roca fosfórica con ácido sulfúrico para obtener ácido fosfórico, empleado en la formulación de fertilizantes fosfatados. Por cada tonelada que se obtiene de este ácido se producen cinco toneladas de fosfoyesos, compuestos por una parte sólida que es básicamente yeso y otra líquida formada por ácido fluorhídrico, ácido fosfórico y ácido sulfúrico.

Se calcula que a nivel mundial se producen entre 100 y 280 millones de toneladas al año de fosfoyesos, un material complicado de gestionar ya que para poder ser reutilizado de forma segura evitando que libere contaminantes al medio llevaría un tratamiento muy costoso, pues además del componente líquido extremadamente ácido contienen elementos radiactivos como uranio, radio y radón, además de algunos metales pesados como arsénico y cadmio.

Así pues, se acumulan en grandes pilas generalmente en zonas costeras donde se encuentran las plantas de fabricación de ácido fosfórico, provocando graves problemas de contaminación y problemas de salud en poblaciones próximas como se ha demostrado en la ciudad de Huelva -junto a la que se encuentran unas balsas de fosfoyesos-, donde hay una elevada incidencia de cáncer, aunque al parecer también influyen en ello los metales pesados del cercano río Tinto. Actualmente se está procediendo a drenar, sellar y recubrir esas balsas.

Por otra parte, las reservas de fosforita o roca fosfórica son limitadas, ya que se extraen de unas pocas minas en el planeta ubicadas en Marruecos, China, EEUU y la parte del Sáhara occidental controlada por Marruecos, y se cree que podrían agotarse en el transcurso de un siglo, por lo que vamos a entrar en una crisis del fósforo.

El problema se agrava porque a menudo los fertilizantes fosfatados (igual que ocurre con los nitrogenados) se echan en exceso en el campo, y ese excedente en forma de lixiviados contamina las masas de agua como hemos visto. De hecho, como pudieron comprobar unos científicos ingleses hace unos años en unos campos de cebada donde solían emplear fertilizantes fosfatados, durante ocho años dejaron de administrar estos fertilizantes a la mitad de la superficie sembrada y observaron que las cosechas no se veían mermadas, ya que las plantas aprovechaban el llamado legado de fósforo, esto es, el remanente que quedaba de anteriores aplicaciones. A partir del octavo año es cuando vieron que empezaba a bajar ligeramente el rendimiento.

Así pues, es crucial reducir la cantidad que se aplica de estos fertilizantes, tanto por su escasez como por los residuos y la contaminación que generan, y también porque no es ni mucho menos necesario para los cultivos en esas cantidades.

Soberanía alimentaria y propiedad intelectual

Cambiando un poco de tercio, no podía dejar de hablar de soberanía alimentaria en un libro sobre agricultura.

Desde la revolución verde -e incluso antes en Estados Unidos-, la comercialización e incluso el intercambio de semillas y demás material de reproducción vegetal (plantones, esquejes, etc.) se ha regulado y restringido. Se quería fomentar el uso de las -entonces- nuevas variedades o híbridos, más productivos y que ofrecían cosechas más homogéneas y de mayor duración postcosecha. Sólo se podían vender o comprar variedades registradas que cumplieran con las normas impuestas; esto es, que fueran homogéneas, que no variasen con el paso del tiempo, y que incorporasen algún avance o mejora, bien para el cultivo o para el producto final.

Desde el pionero Norman Borlaug, que consiguió una variedad híbrida de trigo que producía mucho más grano y a la vez tenía poca altura, lo que evitaba que se tumbase o doblase por el peso y también facilitaba su cosecha con maquinaria, se han ido obteniendo híbridos comerciales de todo tipo de cultivos. Estos híbridos F1 (de primera generación) proceden de ejemplares con una genética muy reducida, ya que para fijar las características deseadas hizo falta un trabajo exhaustivo de selección, y además, como ya descubrió Mendel, si se cruzan dos líneas puras toda la descendencia será uniforme e idéntica en primera instancia (todo lo contrario ocurre en la siguiente generación).Esa pobreza genética los hace más vulnerables y menos resistentes en general a plagas y a condiciones climáticas extremas, aunque también es cierto que se han creado algunos híbridos resistentes a ciertas enfermedades o a la sequía.

Posteriormente, con la secuenciación del ADN y las técnicas que permitían manipular el material genético llegaron los transgénicos, que incorporaban genes de otros organismos que aportaban ventajas para el cultivo. Existen ya muchas variedades transgénicas tanto de árboles frutales, como de cereales, hortalizas, verduras, otras frutas y otros tipos de cultivos. Algunos casos conocidos son el algodón Bt y el maíz MON810, que producen unas toxinas o proteínas letales para diversas plagas obtenidas de la bacteria Bacillus thuringiensis. Por su parte, las plantas HT (siglas referentes a herbicide tolerant) no mueren cuando se les aplica un herbicida específico, es el caso de las variedades Roundup Ready de soja, maíz, algodón, colza, remolacha azucarera y alfalfa, que resisten al herbicida Roundup cuyo componente activo es el glifosato.

El glifosato es un análogo sintético de los aminoácidos que componen las proteínas, y lo que hace es fijarse a la enzima EPSPS bloqueándola; esta enzima es la responsable de sintetizar varios aminoácidos esenciales para el metabolismo celular de la planta (y no sólo en las plantas, también en algas, hongos y bacterias).El glifosato también altera el flujo de carbono, por lo que afecta a la función fotosintética. El resultado es que la planta empieza a amarillear y a necrosarse lentamente hasta que muere.

Pues bien, esta gente obtuvo en laboratorio una cepa de bacterias del género Agrobacterium que posee un gen que expresa una proteína similar a la enzima EPSPS, y que cumple su función pero a la que no afecta la acción del glifosato. Ese gen fue aislado e insertado en el ADN de los cultivos mencionados para hacerlos resistentes al herbicida, de esta forma se puede fumigar para controlar la hierba durante el periodo de desarrollo del cultivo y no sólo antes de la siembra.

Otros transgénicos conocidos son los que llevan el “gen Terminator”, desarrollado en 1998.Consiste en una programación del ADN de forma que la planta que salga de la semilla comercializada sea estéril, haciendo que muera el germen de las semillas que esta produzca. De esta forma el propietario o empresa que posee la patente se asegura de que el agricultor tenga que comprar simiente cada año.

A raíz de estos avances, los derechos de propiedad intelectual (en las formas legales de obtención vegetal o bien de patente) ya no sólo se pueden ejercer sobre variedades e híbridos, sino que en algunos países también se ejercen sobre el germoplasma -es decir, sobre genes-, además de otros tipos de tejidos orgánicos e incluso se pueden patentar (y se patentan) cualidades como resistencias a virus, por ejemplo.

Esto supone un problema añadido, porque si ya con cualquier cultivo puede pasar que el viento arrastre las semillas de una finca a otra, o producirse polinización cruzada -por acción del viento o de insectos- ocasionando problemas entre agricultores, cuando se siembra una finca con transgénicos por ejemplo junto a otra finca donde se siembra el mismo cultivo pero no es transgénico, si hay polinización cruzada el ADN modificado se transfiere a las plantas no transgénicas, lo que puede tener repercusiones económicas importantes.

En el primer mundo y en algunos países en desarrollo, los híbridos, transgénicos y variedades comerciales son omnipresentes, mientras que el número de variedades tradicionales y su producción se han reducido drásticamente. Esta pérdida de diversidad conlleva la pérdida de un pool genético que podría haber sido de mucha utilidad para conseguir plantas más resistentes.

Actualmente en la Unión Europea siguen estando vigentes algunas normativas bastante restrictivas aprobadas en los años 60 (por la entonces CEE), por lo que sigue siendo ilegal la comercialización e intercambio de variedades no registradas, aunque ya se está sugiriendo que se pueda permitir el intercambio de pequeñas cantidades de semillas y otros materiales de reproducción vegetal.

En algunos países americanos con pocos recursos, gracias a la falta de escrúpulos de sus gobernantes, la regulación de las semillas (igual que ha ocurrido con la gestión de otros recursos como el agua) ha ido un paso más allá, siendo utilizada como herramienta para ejercer un capitalismo de rapiña que favorece a los poderosos a costa de los agricultores y de empobrecer aún más esos países.

Uno de los casos más indignantes ha sido el de Colombia. En su código penal, en 2006, se penalizó y judicializó el simple hecho de utilizar semillas que se puedan confundir por su parecido con otras registradas y certificadas, y no sólo eso, sino que en 2010 en colaboración con el gobierno Obama, el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) aprobó la resolución 970, según la cual esta institución podía controlar todas las semillas del país, entrando en las fincas e inmuebles y decomisando y destruyendo el grano o producto alimentario almacenado que se pudiera emplear para sembrar y que no fuese de variedades certificadas, como arroz, maíz, alubias o patatas. De esta forma obligaban a los campesinos a comprar semilla certificada de grandes empresas estadounidenses. También obligaron a cerrar los secaderos de semillas.

Esta resolución se derogó en 2015, y actualmente está en proceso de consulta y pendiente de aprobación una nueva normativa para regular y permitir la comercialización y uso de semillas nativas y criollas.

A nivel global hay distintos convenios como la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV 91), el Acuerdo de la OMC sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC, o TRIPS en inglés), o el Tratado de Budapest (sobre el Reconocimiento Internacional del Depósito de Microorganismos a los fines del Procedimiento en materia de Patentes), que favorecen el registro de obtenciones vegetales y las patentes sobre seres vivos.

Estos convenios, sobre todo los que se ocupan de las patentes, y algunas instituciones regionales -como la Oficina Europea de Patentes- y estatales, en sus normas han ido abriendo la puerta cada vez más a posibles abusos por parte de las grandes empresas de la agroindustria perjudicando a los agricultores, especialmente a los de países en vías de desarrollo que se adhieren a los convenios (condición que a menudo les imponen los países desarrollados para poder firmar tratados de libre comercio con ellos).

Por ejemplo restringen los derechos del agricultor que compra la simiente y quiere emplear parte de la cosecha que obtiene como simiente, pudiendo hacerle pagar en ocasiones un canon relativo a su producción e incluso a quien comercialice el producto que se deriva de esa producción (por ejemplo harina si se trata de un cereal), y pudiendo imponer también pena de cárcel en caso de infracción. A las comunidades indígenas y campesinas también les afectan, ya que se pueden patentar plantas medicinales o cultivos tradicionales como si fueran nuevos con sólo una ligera modificación que se les haga.

Alternativas reales (y probadas) y propuestas para el futuro

Se debería incentivar a nivel estatal en cada país un cambio de manejo para favorecer una transición progresiva desde los métodos convencionales a otros más sostenibles y a la vez productivos, asegurando la estabilidad económica del productor en caso de que las cosechas se vieran mermadas en el proceso, aunque si se hace de la manera correcta esto no tiene por qué ocurrir.

Es lógico pensar que en una gran superficie no se va a poder implementar un manejo orgánico, ya que, por ejemplo, si se quisiera hacer compost para abonar con él los campos esto requeriría mucho trabajo, tiempo, contratación de personal y posiblemente inversión en maquinaria. No obstante, hay otra forma más factible y que además se ha probado con éxito hasta en fincas de miles de hectáreas y en diversos países.

El mexicano Pedro Isabeles Flores en su empresa Utopía Consulting Group ha desarrollado un método basado en la reproducción de microorganismos nativos, utilizando como fuente de alimento para ellos materia vegetal en verde (gramíneas y leguminosas) mezclada con salvado y melaza. Posteriormente, estos microorganismos son multiplicados en agua siempre en condiciones aerobias, donde se añaden harinas de roca y otras enmiendas minerales para que los elementos que contienen sean solubilizados y quelatados. De esta forma todos los preparados que se hacen son en forma líquida y pueden incorporarse al agua de riego, además se puede utilizar agua clorada ya que los microorganismos reproducidos con este método se hacen resistentes al cloro. Lógicamente este método es para regadíos, en zonas donde no hay suficiente agua disponible no se puede implementar.

A la hora de restaurar terrenos compactados o con suela de labor debido a la labranza y la aplicación de herbicidas, a la vez que se rotura con maquinaria -un subsolador por ejemplo, que trabaja el suelo en vertical sin mezclar los perfiles- se riega con microorganismos a esa profundidad para que en adelante mantengan la tierra descompactada gracias a las sustancias y biofilms que secretan.

En Utopía Consulting Group también tienen en cuenta la energía química en sus preparados, evaluando su potencial redox mediante mediciones de la actividad de los electrones (valor ORP).Estos medidores constan de dos electrodos, uno de referencia y otro de medición, que cuando se sumergen en una solución generan un voltaje a partir de las reacciones redox que se producen en la solución. Los valores positivos altos indican condiciones oxidantes mientras que si el valor es negativo y alto indica condiciones reductoras. Aunque creo que es necesaria más investigación sobre este asunto, se sabe que la reducción aporta electrones al medio, lo que se traduce en energía que se acumula y que aumenta la productividad. Por ejemplo, algunos procesos y agentes reductivos son la fotosíntesis, la fijación de nitrógeno, las cubiertas vegetales, la materia orgánica o el acolchado.

En cuanto a cultivos de secano, y aunque ya la Unión Europea impone unas determinadas directrices de manejo a través de la PAC en ese sentido, se tendría que fomentar desde el estado una reducción del laboreo; a menudo observo que se ara en verano después de cosechar el cereal, exponiendo la tierra todavía más al sol, al viento y a posibles tormentas (aunque en la última década apenas se producen ya tormentas en verano a excepción de las secas).Se tendría que promover también la creación de estaciones experimentales donde probar métodos alternativos al convencional como la siembra directa, la incorporación de los rastrojos al suelo y la siembra de cultivos de cobertura y de captura de nitrógeno, llevándolos a cabo en distintos tipos de suelo y en distintas regiones climáticas, para en función de los resultados obtenidos fomentar estos métodos en el campo. Para ello habría que incentivar a los agricultores mediante ayudas económicas, especialmente si se requiere la adquisición de accesorios o de determinada maquinaria.

En esas estaciones experimentales se podrían incluir regadíos, cultivos leñosos, frutales, etc. y en ellas se trataría de llevar a la práctica y de buscar aplicaciones a los conocimientos que nos brinden los últimos avances científicos del momento, claro que para esto, como para muchas otras cosas, hace falta inversión. Ya desde el INIA (Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria), junto con unas cuantas universidades, se trabaja en este sentido, pero pienso que esta labor se queda un poco escasa y que falta esa conexión o comunicación necesaria con el sector agrario.

Es cierto que traducir los descubrimientos científicos en aplicaciones viables lleva tiempo, pero no podemos permitirnos ir décadas por detrás de la ciencia y del conocimiento y cometer errores que a la larga van a costar muy caro. Todo por intentar sacarle la máxima rentabilidad a la tierra sin pensar en el largo plazo (y en esto no toda la culpa la tiene el productor).Una rentabilidad mal entendida, ya que al fin y al cabo no sólo cuentan los ingresos sino también los gastos (eso hablando sólo en términos monetarios, porque hay otros costes también).

En cuanto a la viabilidad de la siembra directa, además de la superficie cada vez mayor a nivel mundial que se dedica a este tipo de manejo, se han venido haciendo diversas pruebas científicas al respecto.

Un ejemplo fue la llevada a cabo durante más de tres décadas (desde 1989 hasta 2023) en la Estación Biológica W.K. Kellogg perteneciente a la Universidad Estatal de Michigan (USA).Allí se estuvo sembrando cada año maíz, soja y trigo tanto de forma convencional (arando) como bajo el método de no labranza o siembra directa -empleando en este caso herbicida para controlar la hierba y dejando los restos de los cultivos en el caso del maíz y de la soja-.

Recogieron diversos datos en cuanto a aspectos del suelo y parámetros ambientales (secuestro de carbono, humedad y drenaje, emisión de gases de efecto invernadero) y también la cantidad de grano cosechado con cada método. En cuanto a esta última cuestión -que al fin y al cabo es la que más suele importar-, si bien en los primeros años ambos métodos daban cosechas similares, en la segunda mitad del periodo estudiado la no labranza superaba claramente al modelo convencional en el maíz y en la soja, en menor medida en el trigo aunque también fue superior. Seguramente esta menor diferencia en la cosecha de trigo con respecto al convencional se debiera a que no dejaban el rastrojo en este cultivo.

Sobre la rentabilidad, si bien la inversión en maquinaria en el caso de la no labranza la hizo menos rentable en un principio, al cabo de trece años esa inversión se amortizó gracias al menor gasto en combustible y al incremento en las cosechas, resultando más rentable que el modelo convencional a largo plazo. Los suelos en los que se realizaron estas pruebas son los francos y francoarenosos del centro y Sur del estado. En el Norte de Michigan, con suelos más arcillosos y clima más frío, se ha observado cierta tendencia a la baja en las cosechas de los cultivos de siembra directa, aunque se descubrió que retrasando la fecha de siembra se obtienen mejores resultados.

En México, un equipo formado por personal de diversas instituciones y universidades del país realizó un experimento similar, sembraron trigo y maíz durante catorce años (desde 1991 hasta 2004) combinando tres variables: método convencional o bien sin labranza; rotación o monocultivo; e incorporación o no de los restos de cultivo.

Al cabo de ese periodo de tiempo analizaron las propiedades físicas y químicas del suelo (resistencia a la penetración, conductividad electrolítica, humedad, agregados, pH, contenido en nitrógeno y en carbono orgánico).También fueron registrando las cosechas correspondientes a cada tipo de manejo. Contando todo el periodo de estudio, las mayores cosechas de maíz se obtuvieron donde se había rotado con el trigo, sin importar el sistema de labranza pero siempre con la incorporación de los restos. En cambio, en el trigo no fue la rotación la que marcó la diferencia, sino que fue la adición del rastrojo y la interacción de este factor con el tipo de labranza.

Por otra parte, si se tienen en cuenta sólo los últimos cuatro años, las mayores cosechas fueron las del maíz y trigo cultivados sin arar y con la adición de los restos al suelo, tanto en monocultivo como en rotación.

En un estudio estadístico de 2020 realizado en Canadá, se compararon los resultados de las cosechas obtenidas en diferentes cultivos con el modelo convencional y bajo la no labranza, dando resultados distintos en el Oeste del país y en el Este.

En el Este, teniendo en cuenta los resultados en su conjunto, con independencia del cultivo, de la duración del experimento, de la textura del suelo y del manejo de los restos, los campos no labrados dieron un rendimiento de media un 6% inferior a los cultivados de forma convencional. En el Oeste, sin embargo, en términos generales con la no labranza se cosechó un 3% más que con el método convencional. Además, en esta parte del país el tipo de cultivo sí marcó la diferencia: se cosechó por ejemplo un 10% más de trigo, un 7% más de colza y un 9% más de legumbres bajo el sistema de no labranza.

En el Oeste no hubo diferencias entre las distintas texturas de suelo, mientras que en el Este, en suelos arcillosos se cosechó un 10% menos con la siembra directa, sin haber diferencias remarcables en otros tipos de suelos entre ambos manejos.

La causa de estas diferencias posiblemente radique en el tiempo que se lleva implementando este método en ambas partes: mientras que en el Oeste se comenzó a finales de los 80 o principios de los 90 con la siembra directa, en el Este se empezó a aplicar más recientemente.

La labranza provoca a la larga una pérdida de materia orgánica que conduce a una reducción de la actividad biológica y todo ello va empeorando las propiedades físicas del suelo, lo que conlleva con el paso del tiempo una posible caída de la productividad de los cultivos. Esto se hace especialmente grave en zonas áridas, donde la materia orgánica que contiene el suelo es de por sí baja y las lluvias son escasas e irregulares.

En España, en la provincia de Sevilla, personal del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (IRNAS-CSIC) y de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola perteneciente a la Universidad de Sevilla, probaron distintas técnicas de agricultura o laboreo de conservación -incluido el no laboreo- comparándolas con el laboreo tradicional, en un cultivo de secano en el que se rotaba trigo con girasol ubicado en un entorno semiárido (menos de 500 mm anuales de media) y con un suelo francoarcilloarenoso. El experimento se realizó desde 1991 hasta 2005, año que fue especialmente seco -222 mm- y en el cual incluyeron en la rotación el guisante forrajero.

Se evaluó el carbono procedente de la biomasa microbiana, la actividad de varias enzimas (deshidrogenasa, fosfatasa alcalina, beta-glucosidasa y proteasa) y la materia orgánica en general (carbono hidrosoluble y carbono orgánico).A profundidades de entre 10 y 25 cm no se hallaron diferencias en cuanto a estas propiedades bioquímicas entre ambos tipos de manejo, mientras que en las capas superficiales las técnicas de agricultura de conservación incrementaron el contenido en materia orgánica y mejoraron en especial el estado biológico del suelo en cuanto a biomasa microbiana y actividad enzimática.

Otros estudios en España han comprobado la utilidad de este tipo de técnicas para incrementar el contenido en agua del suelo en entornos semiáridos (Moreno et al., 1997; Lampurlanés y Cantero-Martínez, 2006) y para mejorar el contenido en carbono orgánico, carbonatos y nutrientes como fósforo y potasio (Murillo et al., 2004; Moreno et al., 2006).Además, se ha demostrado que bajo condiciones áridas la implementación de estos manejos ha aumentado la estabilidad de los agregados y reducido la erosión en la capa más superficial.

En otras pruebas realizadas en distintos países se llegó a conclusiones similares. En la región china de Mongolia interior, por ejemplo, en un medio semiárido, la aplicación de diferentes métodos (no labranza con rastrojos, subsolador con rastrojos, motocultor con rastrojos y laboreo tradicional) durante diez años en cultivos de trigo y avena dio como resultado que las parcelas no labradas incrementaron sus cosechas un 14% más que las parcelas de laboreo tradicional, como corroboró un estudio de 2009.

Además, en dicho estudio se comprobó que los métodos de agricultura de conservación incrementaron la materia orgánica en un 21,4% en los primeros 20 cm de suelo, mientras que el nitrógeno y el fósforo en los primeros 5 cm aumentaron en un 31,8% y un 34,5% respectivamente. También se detectó un 20% más de macroagregados y un 52,1% más de macroporosidad en los 30 cm superiores. La eficiencia en el uso del agua en los cultivos no arados mejoró en un 13,5% comparada con la de los cultivos manejados con laboreo tradicional, debido a la mayor humedad retenida y a la mejora en el estado físico y químico de los suelos.

• Conclusiones

En la actualidad se aíslan, se cultivan en laboratorio y se inoculan o se comercializan para utilizar en el campo cepas de ciertas bacterias y hongos para solubilizar nutrientes y controlar hongos patógenos, o para el mercado de la alimentación en el caso de la trufa. También algunos virus para controlar ciertas bacterias.

Somos capaces además de “cortar” genes de unos organismos para insertarlos en otros, e incluso según noticias recientes, se ha creado un nanomaterial a base de carbono que a escala cuántica -que es como funciona la fotosíntesis también en realidad, pues se activa el proceso con un solo fotón de energía solar que se capte- transforma la luz ultravioleta y la luz verde que las plantas apenas toman en luz roja, que es la que utilizan principalmente para la función fotosintética. Este material se ha incorporado en cultivos de cianobacterias en medio líquido y se ha rociado sobre plantas, observando un incremento bastante considerable de la biomasa y de la fijación de dióxido de carbono.

Veremos muchos más avances y descubrimientos, pero a la vez estaremos condicionados por el manejo agrícola que todavía hacemos, mayoritariamente, basado en el despilfarro de recursos y la destrucción de los suelos, que acaban siendo incultivables al perder la fertilidad y la capacidad para retener agua y nutrientes.

Adenda

La formación de los suelos y el manejo de la materia orgánica para enriquecerlos.

por Juan José Mora Murillo

Para conocer los suelos, su funcionamiento y para optimizar su gestión es imprescindible conocer cómo adquieren su estructura de forma natural.

Existen varias capas en los suelos maduros. Suelos que se han estructurado con el paso del tiempo mediante la influencia de diferentes agentes modeladores, dando lugar a la formación de diferentes horizontes.

Los horizontes son las distintas capas que forman el perfil del suelo. Cada una posee características específicas. Se identifican así los siguientes horizontes:

Horizonte 0: capa superficial rica en materia orgánica en descomposición.

Horizonte A: capa compuesta por una mezcla de materia orgánica y mineral.

Horizonte E: capa de eluviación, donde se lixivian minerales y nutrientes.

Horizonte B: capa de acumulación, en la que se depositan minerales y nutrientes.

Horizonte C: materia parental, es la capa original, compuesta por rocas y minerales.

Estos horizontes son esenciales para entender la fertilidad y la estructura de los suelos, así como su capacidad para originar y sustentar la vida.

En los primeros momentos de la evolución de la Tierra existen suelos rocosos. Estos quedan expuestos a procesos de meteorización que dan origen a la formación de los diferentes horizontes. Estos procesos de meteorización son los siguientes:

Meteorización física: las lluvias, el hielo, los cambios de temperatura y el viento actúan disolviendo, fragmentando y trasladando la roca y sus minerales.

Meteorización química: es la fragmentación, descomposición y transformación de la roca mediante elementos como el oxígeno y el dióxido de carbono, que producen reacciones en la roca cambiando su composición y estructura. Existen también bacterias (cianobacterias) que segregan ácidos que disuelven la roca.

Meteorización biológica: se produce bajo la influencia de seres vivos, que modelan y transforman la roca, favoreciendo que surjan en ella suelos fértiles.

Este último tipo de meteorización es el mecanismo que más nos interesa a la hora de manejar los suelos para hacerlos más eficientes, ya que es en el que más podemos actuar.

En origen, de forma natural son los musgos, líquenes y bacterias los que proliferan en las rocas y se alimentan de sus minerales, descomponiéndolos mediante el aporte de ácidos. Cuando musgos y líquenes mueren, se crea la primera capa de humus. Aquí comienza la ampliación del abanico de vida: microorganismos, hongos, plasmodios, lombrices e insectos participarán en la transformación y colaborarán al aumento del aporte de materia orgánica, que permitirá que especies y comunidades vegetales y animales de mayor porte puedan desarrollarse. Este proceso dará lugar a una mayor ampliación de esa capa de humus y a la creación de un primer horizonte fértil que permita el surgimiento de grandes masas vegetales y ecosistemas complejos, originándose un bucle de transformación de la materia.

El proceso se verá recompensado por este ciclo cerrado de continuo retorno de materia orgánica y minerales, y cada uno de estos seres vivos que forma parte de este mecanismo posee su propia función en el entramado de transformación, asimilación y liberación de esos nutrientes.

La sobreexplotación de los suelos causa que esos horizontes naturales llenos de nutrientes desaparezcan, por lo que estos acaban degradados y empobrecidos de nutrientes y vida, lo que conlleva una disminución de la productividad de los cultivos y la aparición de enfermedades y plagas en ellos. En nuestra mano cabe la posibilidad de manejar esta transformación biológica de la materia orgánica mediante seres vivos (biotecnología) para producir abonos orgánicos y recuperar esa capa superficial llena de vida que dará vigor y salud a los cultivos.

Si tomamos materia orgánica vegetal (restos de poda y de jardinería, desechos vegetales alimentarios, etc.) y materia fruto de la digestión de animales herbívoros y aves, podremos realizar un aprovechamiento de esos recursos para compostarlos y obtener abono orgánico de alta calidad, que a la vez actuará como muro contra enfermedades en los cultivos. Hará efecto esponja, reteniendo la humedad y otros nutrientes aportados, evitará la erosión y que las aguas de lluvia, los nutrientes y minerales se pierdan por escorrentía.

En la propia acumulación de esta materia compostable, a la que habrá que añadir agua, surgirán de forma natural bacterias y hongos que producirán una descomposición anaeróbica (en ausencia de oxígeno) en su digestión, se elevará la temperatura de la materia y comenzará su transformación, lo que dará como resultado la estabilización de los nutrientes básicos N, P, K y C además de otros micronutrientes. También empezarán a actuar realizando una descomposición aeróbica (en contacto con el aire) hongos, plasmodios, insectos y lombrices, que transformarán la materia, reducirán el tamaño de las partículas, darán un mayor aporte de microorganismos y ofrecerán una ayuda esencial para la asimilación de nutrientes y el control de plagas de forma natural.

Dentro de la descomposición aeróbica hay varios seres vivos que podremos manejar de una forma fácil para acelerar el proceso de descomposición, entre los que se encuentran hongos como Trichoderma o bacterias como Bacillus subtilis, que podemos adquirir en el mercado.

Por otro lado, podemos manejar especies como el escarabajo rinoceronte (Oryctes nasicornis), tenebrios o moscas soldado, cuyas larvas descomponen materia más gruesa en pequeñas partículas. Estos suelen llegar de forma natural a las pilas de compost haciendo sus puestas allí.

Macho adulto de escarabajo rinoceronte Oryctes nasicornis muerto junto al compost. Las hembras ponen huevos entre la materia orgánica en descomposición, ya sea en un bosque o en montones de estiércol, serrín o compost. Las larvas viven dos o tres años y se alimentan de dichos materiales, mientras que de adultos viven unos meses durante los cuales no comen.

Cabe destacar la labor de las conocidas como cochinillas de la humedad, uno de los pocos crustáceos que evolucionaron de la vida marina a la terrestre y cuya labor es no solo descomponer materia en su digestión, sino también limpiar la materia orgánica de metales pesados mediante un mecanismo de su intestino que los cristaliza, haciendo que retengan su toxicidad. Ellas también aparecen solas y colonizan las pilas de compost de forma natural.

Por supuesto debemos hablar de la gran labor las lombrices como descomponedor que desempeña algunos de los roles más importantes, entre las que habría que distinguir la concentración de elementos básicos como el N, P, K y C así como el calcio y otros, además del aporte de una gran carga de microbiología que hace que su excreta de lugar al abono natural por excelencia, con gran porcentaje de ácidos húmicos y fúlvicos, y actúa como vector de propagación de esta microbiología y hongos beneficiosos.

Existen tres tipos según su alimentación, su labor y su hábitat:

Epigeas (superficiales)

Alimentación: restos orgánicos frescos en descomposición, estiércol, hojas, restos de cocina, materia vegetal en superficie.

Función natural: transforman la materia orgánica en humus estable. Activan la descomposición rápida. Sirven de alimento a muchos depredadores (aves, mamíferos, insectos). Son las “recicladoras rápidas” de la naturaleza.

Endogeas (interiores)

Alimentación: comen suelo con materia orgánica incorporada, raíces muertas, exudados de plantas, microorganismos.

Función natural: mezclan suelo y materia orgánica. Forman agregados estables, mejoran estructura y porosidad. Enriquecen el suelo en profundidad.

Son las “arquitectas” de la fertilidad interna del suelo.

Anécicas (profundizadoras)

Alimentación: hojas y restos superficiales que arrastran a sus galerías, además de ingerir tierra y microorganismos.

Función natural: hacen túneles verticales que conectan superficie y subsuelo.

Mejoran drenaje y aireación profunda. Transportan nutrientes desde arriba hacia abajo. Son los “ingenieros hidráulicos” del suelo.

Ellas aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica procedente de plantas y animales, que es rica en carbono, nitrógeno, fosforo, potasio, calcio y otros micronutrientes, y los hacen directamente asimilables para las plantas a través del aporte de microbiología proveniente de su aparato digestivo, además de aportar ácidos húmicos, fúlvicos y una gran carga microbiana beneficiosa que actúa como control de plagas para las plantas.

Para el manejo de pilas de compost las lombrices más útiles son las epigeas, ya que ellas digieren la materia orgánica en descomposición y aceleran el proceso de compostaje. Por desgracia el uso de productos químicos y el modelado del paisaje y los ecosistemas ha erradicado en gran parte la mayoría de sus hábitats, quedando relegadas a zonas boscosas con protección que no están bajo la influencia de estos productos químicos, aunque también se pueden adquirir en el mercado.

Como conclusión, existen multitud de eslabones en la cadena de la descomposición, de la que nosotros los seres humanos formamos parte ya que todos nos alimentamos y transformamos la materia mediante la digestión. Aunque el ser humano es el único que produce restos de materia ”no aprovechados” (toneladas de comida que se desechan). Volver a introducir esa materia no aprovechada en el ciclo natural dentro del proceso de producción de alimentos es su responsabilidad, y el compostaje mediante biotecnología es el camino más fácil y lógico. Mirar la naturaleza, observar sus mecanismos e imitarlos siempre fue la mejor solución para no romper los ciclos naturales de transformación y reintroducción de la materia, evitando así contaminar los ecosistemas -que nos proporcionan desde el alimento que comemos hasta el aire que respiramos- a la vez que enriquecemos nuestros suelos. Algo beneficioso se mire por donde se mire.

Glosario

ACC desaminasa: enzima producida por rizobacterias promotoras del crecimiento (PGPR) y también por hongos filamentosos que descompone el ACC, un precursor del gas etileno. El etileno es producido por las plantas en condiciones de estrés, ya sea por lesión, enfermedad o condiciones adversas, inhibiendo el desarrollo vegetal. Al reducir los niveles de etileno en la planta, los microorganismos que producen esta enzima favorecen el desarrollo vegetal.

Ácido abscísico: hormona vegetal que interviene en la dormancia de las semillas, en la senescencia y caída de las hojas, regula el crecimiento y mantiene el balance hídrico en la planta en condiciones de sequía. En ausencia de agua inhibe la actividad de las giberelinas (otras fitohormonas) bloqueando la germinación de las semillas.

Ácidos fúlvicos: fracción del humus que se separa cuando se trata con reactivos. Sólidos o semisólidos de naturaleza coloidal fácilmente dispersables en agua, son los elementos más pequeños del humus, por ello también los más fácilmente absorbibles por las raíces y los que tienen mayor capacidad de intercambio catiónico.

Ácidos húmicos: una de las fracciones en que se separa el humus al tratarlo con reactivos. Son sólidos generalmente insolubles en agua, mejoran la disponibilidad de los cationes por su facilidad para quelatarlos y por su capacidad de intercambio catiónico. Son más pequeños que las huminas y más grandes que los ácidos fúlvicos.

Ácido-lácticas: varios géneros de bacterias anaerobias con características morfológicas, fisiológicas y metabólicas en común, que producen ácido láctico como único o principal producto de la fermentación de carbohidratos. Participan en la fermentación de muchos alimentos que consumimos (lácteos, pan, cerveza, vino, encurtidos, etc.).

Actinomicetos: llamados en un principio así por formar micelio y ramificaciones de disposición radial, se consideraban un grupo intermedio entre hongos y bacterias. Actualmente se consideran bacterias ya que son procariotas (células sin núcleo, con el material genético disperso en el citoplasma) y se denominan actinobacterias. Se descubrió que producían un antibiótico -la actinomicina- que actúa inhibiendo la síntesis de ARN o ADN, por lo general en otras bacterias y en algunos hongos.

Alelopatía: fenómeno biológico por el cual un organismo produce uno o más compuestos bioquímicos tóxicos o disuasivos que inhiben el desarrollo o afectan a la supervivencia de otros, pudiendo ser vegetales o animales.

Aminoácidos: moléculas orgánicas que se combinan formando cadenas (péptidos) que dan lugar a proteínas, hormonas, metabolitos y neurotransmisores.

Arbuscular: se denomina así a ciertas endomicorrizas debido a los arbúsculos (órganos en forma de pequeños árboles) que desarrollan en el interior de las células corticales (del córtex) de las raíces. Este tipo de endomicorrizas desarrollan hifas entre las células de la raíz y vesículas y arbúsculos dentro de estas, asociándose de esta manera con el 80% de las plantas terrestres y con algunos hongos y utilizando estos órganos para el intercambio de nutrientes.

ATP (adenosín trifosfato): molécula portadora de la energía primaria a nivel celular para casi todas las formas de vida, se trata de un nucleótido como los que forman el ARN y el ADN. Está formada por un azúcar -ribosa-, una base nitrogenada -adenina- y tres grupos fosfato, estos últimos unidos mediante enlaces anhídridos, unos enlaces que cuando se rompen por hidrólisis liberan una gran cantidad de energía. Se utiliza para impulsar muchas reacciones celulares. En las plantas el ATP se crea mediante la fotofosforilación (una fase de la fotosíntesis) y también en la respiración celular.

Auxinas: grupo de sustancias a menudo llamadas hormonas vegetales o fitohormonas que regulan el crecimiento de las plantas por alargamiento de sus células. La sustancia más habitual es el ácido indolacético, que proviene de un aminoácido (el triptófano). A él se debe la dominancia apical (inhibición del desarrollo de las yemas laterales en favor de la apical), el fototropismo (crecimiento dirigido hacia la fuente de luz) o el desarrollo de raíces laterales. Existen otras muchas hormonas como el ácido jasmónico que también influyen en el crecimiento, aparte de tener otras funciones.

Biofilm: matriz dentro de la cual se desarrolla una comunidad de microbios y que es producida por ellos mismos -la placa dental es un biofilm, por ejemplo-. Principalmente son bacterias, pero todos los microorganismos son capaces de generarlo. El componente mayoritario de esta sustancia es agua. También contiene polisacáridos, que son carbohidratos formados por cadenas de monosacáridos o azúcares simples. Algunos polisacáridos son el almidón, la celulosa y el glucógeno.

Cantáridos: familia de insectos del orden de los coleópteros, de los que se conocen más de 5. 000 especies. En estado adulto (aunque viven poco tiempo) y sobre todo en estado larvario depredan pulgones, thrips, moscas de la fruta, mosca del olivo, caracoles, heterópteros (chinches), además de huevos, pupas o larvas de otros insectos como lepidópteros de los que afectan a cultivos hortícolas.

Citoquininas: grupo de hormonas vegetales que promueven la división celular. Se encargan del crecimiento de los cotiledones por elongación de sus células durante la germinación en respuesta a la luz y regulan la formación y desarrollo del tallo. También retrasan la senescencia foliar al ralentizar la degradación de la clorofila y de otros componentes de las hojas, controlan la brotación de las yemas laterales contribuyendo a la dominancia apical, intervienen en la síntesis de pigmentos fotosintéticos en los cloroplastos y en algunas especies regulan además el desarrollo floral.

Clímax: la comunidad clímax o vegetación climácica es aquella que es estable en el tiempo y que presenta el máximo desarrollo en cuanto a biomasa que permite el medio y el clima en el que se encuentra. Es la etapa final en la llamada sucesión ecológica, que explica cómo al colonizar una roca recién formada, o bien un lugar alterado, van apareciendo y sucediéndose distintas formaciones vegetales con el paso del tiempo, siendo cada vez más diversas y abundantes.

Colémbolos: pequeños artrópodos hexápodos (de seis patas) saltadores cercanos a los insectos, constituyen un grupo homogéneo con unos rasgos anatómicos y fisiológicos particulares. Junto con ciertos ácaros, son los artrópodos más abundantes en el suelo -y están entre los animales más numerosos del planeta-, se encuentran tanto en la superficie como en capas más profundas. Habitan en todos los continentes, incluso en la Antártida. Se alimentan de hongos, mohos, bacterias y materia vegetal en descomposición, causando a veces daños en cultivos.

Coloide: partícula que por su tamaño -generalmente entre una micra y un nanómetro- no se disuelve en un fluido ni se encuentra en suspensión, sino que se dispersa en él formando una mezcla heterogénea. También se denomina coloide a la propia mezcla o solución.

Crisopas: familia de insectos del orden de los neurópteros de los que se conocen unas 1. 300 especies. Los adultos, según la especie, se alimentan de néctar, polen y melaza que excretan los áfidos o bien de otros insectos, mientras que las larvas son depredadoras voraces. Se alimentan de una amplia variedad de insectos fitófagos, como pulgones, thrips, cochinillas o huevos y larvas de lepidópteros, también ácaros. Los huevos de las crisopas cuelgan de unos hilos que las propias hembras producen.

Eluviación: migración mecánica de la arcilla desde los horizontes superficiales a horizontes más profundos, debido al arrastre ocasionado por las aguas de infiltración. Estas la movilizan quedando en suspensión, y ocupan los poros vacíos del suelo seco.

Enzima: molécula producida por los organismos vivos que funciona como catalizador biológico, esto es, que acelera la velocidad de una reacción química. Puede ser una proteína o ARN (ácido ribonucleico).

Esporular: formar esporas las bacterias, hongos, algas y algunos tipos de plantas y de protozoos. Generalmente se trata de un tipo de reproducción asexual aunque también existe una esporulación meióica dentro de procesos de reproducción sexual. Cuando la espora es dispersada y encuentra condiciones adecuadas, forma un nuevo organismo al dividirse por mitosis.

Etileno: hormona vegetal gaseosa que regula procesos fisiológicos como la maduración de los frutos climatéricos -los que siguen madurando una vez cogidos-, formación de raíces adventicias, senescencia, etc. Es el responsable de los cambios de textura, consistencia, sabor y color durante la maduración de este tipo de frutos. También se sintetiza cuando la planta sufre algún tipo de estrés, como estrés hídrico por salinidad, estrés anaeróbico por inundación, ataque por patógenos, contaminación del suelo por metales pesados e hidrocarburos, por heridas, congelación, calor o deficiencia nutricional.

Flavonoides: metabolitos secundarios del grupo de los compuestos fenólicos que las plantas producen. Sirven como mecanismo de defensa frente a la radiación UV y frente a los herbívoros produciendo un sabor desagradable en ocasiones, otros protegen de patógenos. Son flavonoides las antocianinas, un pigmento que da color rojo, violeta o azul a hojas y flores, también las fitoalexinas, que defienden a la planta especializándose en especies concretas de patógenos, alterando su metabolismo o su estructura celular.

Giberelinas: grupo de hormonas vegetales que se generan en los meristemos apicales de tallo y raíz, en hojas jóvenes y en los embriones de las semillas. Estimulan el alargamiento de los brotes, la germinación de las semillas, la maduración de flores y frutos, la formación de zarcillos en las vides o la elongación de las raíces durante la germinación. Una de las giberelinas más activas es el ácido giberélico.

Glomalina: glicoproteína (molécula compuesta por una proteína unida a uno o varios carbohidratos) que se encuentra en las hifas y esporas de las endomicorrizas o micorrizas arbusculares. Se evalúa la presencia de esta sustancia en el suelo mediante el parámetro de las PSRG (proteínas del suelo relacionadas con la glomalina).

Hemicelulosa: conjunto heterogéneo de polisacáridos (carbohidratos formados por cadenas de azúcares simples) que compone las paredes celulares de las plantas junto con la celulosa y la lignina.

Hidrólisis: reacción química en la que una molécula de agua interactúa con otra molécula para romper sus enlaces, descomponiéndola al combinarse el hidrón y el grupo hidroxilo en que se separa a su vez el agua con los iones de la otra molécula. También el oxidanio (H_3O^+), que es el resultado de la unión de una molécula de agua con un hidrón, provoca estas reacciones.

Huminas: son los compuestos húmicos no extraíbles con reactivos y constituyen un grupo de sustancias muy diferentes entre sí. Se trata de moléculas estables, muy grandes y de elevado peso molecular, no solubles en agua. Mejoran la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua.

Meristemo: tejido vegetal formado por pequeñas células no diferenciadas, capaces de originar mediante divisiones continuas células semejantes o diferentes, formando así otros tejidos y nuevos órganos. Los meristemos se localizan en los extremos de raíz y tallo, aunque también hay meristemos laterales que dan lugar a tallos laterales o a raíces secundarias, además de otros más específicos. Son en definitiva los responsables del crecimiento primario.

Metabolitos secundarios: son compuestos sintetizados a partir de excedentes del metabolismo primario (aminoácidos, carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos), los cuales intervienen en el crecimiento y supervivencia de la planta. Las condiciones ambientales y las interacciones de la planta con otros seres vivos (competencia con otras plantas, ataques de herbívoros e infecciones por patógenos) influyen en la síntesis de metabolitos secundarios, actuando estos como aleloquímicos contra otras plantas o como tóxicos y para dar mal sabor -contra los herbívoros-, además de atraer a parasitoides y depredadores o proteger de la radiación UV, entre otras funciones. Se clasifican en tres grandes grupos: fenoles, terpenos y alcaloides. Entre los compuestos fenólicos, algunos de los más conocidos son los flavonoides.

Mosca soldado: la mosca soldado negra es un insecto díptero originario de América. Sus larvas son capaces de procesar diversas materias orgánicas y lo hacen con voracidad ya que en fase de pupa o de adultos dependen de las grasas almacenadas durante esta etapa.

Nemátodos: filo (una de las categorías en que se clasifican los seres vivos) de invertebrados de los más numerosos en cuanto a especies, se han identificado unas 20. 000 pero se piensa que hay muchas más. Se conocen también como gusanos redondos y habitan en medios acuáticos y terrestres, la mayoría son microscópicos. Sus formas parasitarias -la mayoría de especies no lo son- causan daños en los cultivos y también afectan al ganado y al ser humano (lombrices intestinales).

Nucleótido: molécula orgánica que constituye la unidad estructural que forma el ADN y el ARN, que son los ácidos nucleicos que transmiten la información genética. También realizan funciones importantes como moléculas libres, como es el caso del ATP (adenosín trifosfato), que es la principal molécula encargada de obtener y transportar energía entre las células en plantas, animales y microorganismos.

Oomicetos: eucariotas (células con núcleo) filamentosos similares a los hongos, aunque se clasifican en otro reino. Varios de los hongos patógenos que afectan a los cultivos como Phytophtora, Pythium, mildiú o roya no son en realidad hongos sino oomicetos. Los hay también que viven en medios acuáticos y algunos de ellos como Saprolegnia infectan a peces de agua dulce, anfibios, crustáceos e insectos acuáticos.

PH (potencial de hidrógeno): el químico danés Soren Peder Lauritz Sorensen acuñó este término para medir la acidez o alcalinidad de una disolución en base a un coeficiente de actividad iónica del catión hidrógeno (H^+). Para simplificarlo, aunque no es exactamente lo mismo, se utiliza también el parámetro de la concentración molar -número de moles del soluto por litro de solución- tanto de hidrones H^+ como de aniones hidroxilo o hidróxido (OH^-). Entre ambos, pH y pOH (potencial de hidróxido), deben sumar 14 (cifra simplificada ya que en realidad es un logaritmo negativo de base 10). Tomando como neutro el pH del agua pura a 25ºC que es 7, se considera ácida una solución de pH inferior a 7 y alcalina una de pH superior a 7.

Plasmodio: agregado en forma de masa gelatinosa que se produce en alguna etapa de la vida de ciertas bacterias y mixomicetos (mohos mucilaginosos). Puede originarse por múltiples divisiones del núcleo celular dentro del mismo citoplasma o ser un simple agregado de células independientes.

Quelato: los microelementos o micronutrientes metálicos como el hierro, el zinc, el manganeso y el cobre a menudo se encuentran en formas no solubles, de forma que las plantas no los pueden asimilar. Este problema se agrava cuando se echan grandes cantidades de fosfatos (como se hace a veces) y en el caso del hierro también cuando se trata de suelos calcáreos, debido al pH alto y a la gran cantidad de iones bicarbonato. Los quelatos son compuestos estables formados por moléculas orgánicas que recubren y se enlazan a iones metálicos, evitando que precipiten en forma de hidróxido insoluble.

Redox: el potencial redox o potencial de oxidación-reducción es un parámetro referente al intercambio de electrones entre moléculas o átomos y se mide en voltios o milivoltios. Valores negativos indican presencia de un agente reductor, mientras que si hay un oxidante fuerte el medidor dará un valor positivo.

Saponinas: metabolitos secundarios que forman parte del sistema de defensa contra patógenos y depredadores en plantas de diversos géneros. Un rasgo distintivo es su capacidad para producir espuma -como el jabón, de ahí su nombre- al contener compuestos solubles a los lípidos y solubles al agua. Ciertas plantas que poseen muchas saponinas se han utilizado tradicionalmente como jabón.

Saprófito/a o saprofito/a: llamados también saprófagos, son microorganismos o plantas que se alimentan de materia orgánica muerta, ya sean residuos microbianos, vegetales o animales. También se pueden alimentar de los exudados que producen las plantas vivas. Entre estos microorganismos hay bacterias, protozoos y hongos, algunos de los cuales son además parásitos que atacan a árboles débiles, por ejemplo. Los hongos saprófitos son organismos de vida libre que utilizan enzimas para descomponer la materia: algunos se nutren de la madera, otros lo hacen de nuestros alimentos (mohos, levaduras), otros de la ropa, de piel, uñas o pelo, de hidrocarburos, de compuestos tóxicos, etc. Entre las bacterias, las más comunes son Bacillus subtilis y Pseudomonas fluorescens. Todos ellos se encargan de reciclar los nutrientes emitiendo en el proceso nitrógeno y dióxido de carbono que pueden ser aprovechados por los organismos autótrofos.

Sideróforo: compuesto secretado por microorganismos y también por las plantas (fitosideróforos) que tiene afinidad por el hierro, actuando como quelante y facilitando así que lo puedan captar las raíces.

Sírfidos: familia de insectos del orden de los dípteros, de los que se conocen cerca de 5. 400 especies. Muchos de ellos poseen rasgos y patrones de coloración parecidos a los de avispas y abejas como mecanismo de defensa (mimetización batesiana). Los adultos se alimentan de néctar y polen mientras que las larvas depredan insectos, principalmente áfidos como los pulgones y las cochinillas, pero también thrips o mosca blanca.

Tenebrios: familia de insectos coleópteros que se alimentan de materia vegetal muerta o de ciertos hongos, según la especie. Se ha comprobado que el excremento de las larvas del tenebrio molitor o gusano de la harina se mineraliza rápidamente y contiene una alta concentración de nutrientes, siendo equivalente a un fertilizante NPK. Además, su presencia en el suelo aumenta la actividad microbiana.

Referencias y bibliografía

Libros, artículos científicos, escritos y ponencias

• Antella, barón de (1961): La nueva agricultura que en realidad es la más antigua. Boletín del Instituto de Estudios Giennenses número 29.

• Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2013): Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana de España S.L., Madrid. Obra original editada en 2008 por la Universitat de Barcelona y McGraw-Hill.

• Benavides Mendoza, A. (2011): Absorción de iones en la raíz. Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista (México).

• Barrera, S. (2009): El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial volumen 7 número 1. Publicada por Taller Editorial Universidad del Cauca en Popayán (Colombia). http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100014

• Bianco, M. (2015): El valor de la semilla. Propiedad intelectual y acumulación capitalista. Revista de Ciencias Sociales volumen 28 número 36. Departamento de Sociología de la Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República (Uruguay). http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0797-55382015000100003

• Carrillo-Saucedo, S. et al. (2022): Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. Acta Botánica Mexicana número 129. Publicada por el Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512022000100508

• Ceccon, E. (2009): La revolución verde: tragedia en dos actos. Revista Ciencias, número 91. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.revistacienciasunam.com/pt/44-revistas/revista-ciencias-91/235-la-revolucion-verde-tragedia-en-dos-actos.html

• Chen, M. et al. (2010): A red-shifted chlorophyll. Revista Science volumen 329 número 5997.

• Esquivel-Cote, R. et al. (2013): Importancia agrobiotecnológica de la enzima ACC desaminasa en rizobacterias, una revisión. Revista Fitotecnia Mexicana volumen 36 número 3. Editada por Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. en Chapingo (México). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000300010&lng=es&nrm=iso&tlng=es

• Faulkner, E. (1981): La insensatez del agricultor. Erosión: un planteo ecológico. Editorial El Ateneo, Buenos Aires. Obra original: Plowman’s Folly, publicada por University of Oklahoma Press (USA) en 1943.

• Fuentes, M. et al. (2009): Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. European Journal of Agronomy volumen 30 número 3. Revista oficial de la European Society for Agronomy. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1161030108001214

• Fukuoka, M. (1978): The one-straw revolution, an introduction to natural farming. Editado por Rodale Press. Traducción publicada por el Instituto Permacultura Montsant.

• García Tejero, I. et al. (2009): Efectos del laboreo en la curva de retención hídrica de un suelo bajo diferentes manejos. Revista Vida Rural nº 297. Editada por Eumedia S.A.

• He, J. et al. (2009): Effects of ten years of conservation tillage on soil properties and productivity in the farming-pastoral ecotone of Inner Mongolia, China. Revista Soil Use and Management volumen 25 número 2. Publicada por Wiley para la British Society of Soil Science.

• Heredia, A. et al. (1998): La cutícula vegetal: estructura y funciones. Revista de Ecología número 12, publicada por el Organismo Autónomo Parques Nacionales.

• Hernández Cortés, J. A. (2015): La fotorrespiración: un mecanismo de protección para la fotosíntesis en condiciones de estrés ambiental. CEBAS-CSIC. https://cienciacebas.wordpress.com/2015/10/28/la-fotorrespiracion-un-mecanismo-de-proteccion-para- la-fotosintesis-en-condiciones-de-estres-ambiental/

• Hopkins, C. et al. (1911): For better crops. International Harvester Company of America. Chicago (USA).

• Hopkins, C. (1910): Soil fertility and permanent agriculture. Publicado por Ginn and Company en Boston (USA).

• Hopkins, C. y Whiting, A. (1916): Soil bacteria and phosphates. Boletín número 190 de la Estación Agrícola Experimental de la Universidad de Illinois. Urbana (USA).

• Howard, A. (1940): An agricultural testament. Oxford University Press, Londres.

• Howard, A. y Wad, Y. (1931): The waste products of agriculture - their utilization as humus. Oxford University Press, Londres.

• King, F. (1911): Farmers of forty centuries: or permanent agriculture in China, Korea and Japan. Editado de forma privada en Wisconsin (USA).

• Macías, F. (2021): Necesitamos los fertilizantes para alimentar al planeta, pero ¿qué hacemos con los residuos? https://iresiduo.com/blogs/francisco-macias/necesitamos-fertilizantes-alimentar-al-planeta-pero-que-hacemos-residuos

• Materia orgánica y actividad biológica. Publicación de Ediciones Complutense, Universidad Complutense de Madrid. https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-104576/1.%20Materia%20org%C3%A1nica%20y%20actividad%20biol%C3%B3gica.pdf

• Molina, A. et al. (2007): Inmunidad innata en plantas y resistencia a patógenos: nuevos conceptos y potenciales aplicaciones en protección vegetal. Revista Phytoma número 192. https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/192-octubre-2007/inmunidad-innata-en-plantas-y-resistencia-a-patogenos-nuevos-conceptos-y-potenciales-aplicaciones-en-proteccion-vegetal

• Morell, F. et al. (2009): La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. Revista Cultivos Tropicales volumen 30 número 4, publicada por el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas en La Habana (Cuba).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000400014

• Murillo, J. M. et al. (2004): Conservation tillage: long term effect on soil and crops under rainfed conditions in South-West Spain (Western Andalusia). Revista Española de Investigaciones Agrarias volumen 2 número 1. Editada por el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria y publicada por el CSIC.
https://sjar.revistas.csic.es/index.php/sjar/article/view/58/55

• Peteira, B. (2020): La resistencia inducida como alternativa para el manejo de plagas en las plantas de cultivo. Revista de Protección Vegetal volumen 35 número 1, publicada por el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria en La Habana (Cuba).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522020000100001#B10

• Primavesi, A. (1984): Manejo ecológico del suelo. Editorial El Ateneo, Buenos Aires. Obra original editada en 1980 por Livraria Nobel S.A. en Sao Paulo.

• Primavesi, A. (2003): Los bioindicadores del suelo, una herramienta de análisis en agricultura orgánica. Memorias del seminario-taller impartido en la Fundación Universitaria Juan de Castellanos en Tunja (Colombia).

• Sanz Sebastián, T. (2016): Transgénicos y patentes, punto de vista jurídico. Ponencia sobre legislación ambiental. Universidad del País Vasco.

• Sears, P. (1947): Deserts on the march. University of Oklahoma Press.

• Taladrid, A. y Schwember, A. (2012): ¿Qué hacer con los rastrojos? Revista Agronomía y Forestal UC número 46. Dirección de Extensión y Desarrollo de la Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile.

• Velasco-Jiménez, A. et al. (2020): Bacterias rizosféricas con beneficios potenciales en la agricultura. Revista TERRA Latinoamericana volumen 38 número 2, publicada por la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000300333

• White, J. et al. (2018): Rhizophagy cicle: an oxidative process in plants for nutrient extraction from symbiotic microbes. Revista Microorganisms volumen 6 número 3.
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6164190/

Portales, páginas web y blogs

- https://canadianagronomist.ca/no-till-improves-yield-and-soil-organic-carbon-in-western-canada/
- http://www.edafologia.net. Portal de Carlos Dorronsoro Fernández, catedrático de Edafología y Química Agrícola (jubilado) por las universidades de Salamanca y Granada.
- https://www.canr.msu.edu/soil_health/uploads/files/NoTill%20Bulletin%20final%202025.pdf
- https://ellombricero.com
- https://ellombricero.com/blog/
- https://intagri.com/articulos
- https://lamierdadevaca.com
- https://latanina.com
- https://latanina.com/blog/
- https://utopiacginternacional.com
- https://vidadelsuelo.com

Canales de YouTube

- www.youtube.com/@ellombricero
- www.youtube.com/@el_sembrador
- www.youtube.com/@ELTERREGALDERAY
- www.youtube.com/c/EntomopatíaconJairo
- www.youtube.com/@fincaorganicachaupimolino7867
- www.youtube.com/@JairoRestrepoRivera
- www.youtube.com/@laTanina
- www.youtube.com/@NachoSimon-GaiaOrganicos
- www.youtube.com/@SerRegenera
- www.youtube.com/@utopiaconsultinggroup9479
- www.youtube.com/@vidadelsuelo

Este libro se terminó de editar y maquetar el día
25 de noviembre de 2025,
entre El Tiemblo (Ávila) y Estepona (Málaga)
con la ayuda de la mensajería instantánea, el correo electrónico
y mucha paciencia corrigiendo errores.